

발 간 등 록 번 호

11-1380000-002527-01

농업통계조사에 원격탐사기술 활용방안 조사 연구

경 북 대 학 교

제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 『농업통계조사에 원격탐사기술 활용방안 조사 연구』에 관한 연구용역사업의 결과보고서로 제출합니다.

2008. 1. .

경 북 대 학 교

농업통계조사에 원격탐사기술 활용방안 조사 연구

연구책임자: 김충실(경북대학교 교수)

연구 원: 이상호(경북대학교 강사)

연구 보조원: 이상열(경북대학교 대학원)

연구 보조원: 강승규(경북대학교 대학원)

연구 보조원: 이현근(경북대학교 대학원)

연구 보조원: 박성기(경북대학교 대학원)

연구 보조원: 정운진(경북대학교 대학원)

경 북 대 학 교

<제목 차례>

제 1 장 서 론	1
1. 연구의 필요성	1
2. 연구의 목적	4
3. 연구 내용 및 방법론	4
가. 연구내용	4
나. 연구방법	7
제 2 장 국내 농업 면적통계 산출 현황	12
1. 국내 농업 통계 관련 법규와 조사체계	12
2. 면적통계 생산 개요	15
가. 경지총조사(모집단 구축)과 표본 추출	18
나. 경지면적 통계 생산	20
다. 작물재배면적 통계 생산	22
3. 국내 면적통계생산 방법의 시사점	24
제 3 장 주요국들의 원격탐사기술 응용사례	27
1. 미국의 농업통계분야 항공우주기술 응용	27
가. 면적통계의 RS기술 이용현황	27
나. Area Sampling Frame 구축의 개요와 RS이용현황	4

다. 위성영상판독결과를 이용한 작물재배면적 추정	67
라. 미국사례의 요약 및 시사점	78
2. EU의 농업통계분야 항공우주기술 응용	80
가. 면적통계 분야 관련 RS기술의 응용 연구현황	80
나. LUCAS survey의 RS 활용현황	100
3. 중국의 농업통계분야 항공우주기술 응용	107
가. 중국농업통계 RS 활용 연구 개발현황	107
나. 2단계 증화추출을 이용한 작물재배면적 추정	114
4. 일본의 농업통계분야 항공우주기술 응용	128
가. 일본 농업통계의 RS활용현황	128
나. 일본 국립 농업공학연구소의 연구사례	130
5. 인도의 농업통계분야 항공기술 응용	137
가. 인도 우주항공기술의 역사	137
나. 인도의 농업부문 RS연구 현황	139
제 4 장 고해상도영상을 통한 경지면적 추정실험	141
1. 실험지역의 선정 및 실험범위	141
가. 실험지역의 선정	141
나. 실험의 범위	142
2. 위성영상의 획득 및 처리	143
가. 위성영상의 획득	143
나. 영상의 전처리	144

3. 감독분류 알고리즘을 이용한 영상판독	152
가. 영상분류 알고리즘	152
나. 영상판독과 경지면적의 추정	156
4. 결과의 평가	168
가. 연속수치지적도에 의거한 결과 평가	168
나. 현장조사 결과에 의한 분류결과평가	170
제 5 장 고해상도영상을 이용한 벵재배면적추정	178
1. 실험지역의 선정 및 실험범위	178
가. 영상 시기의 선정	178
나. 실험의 범위	178
2. 위성영상의 획득 및 처리	180
가. 위성영상의 획득	180
나. 영상의 전처리	181
3. 감독분류알고리즘을 이용한 영상판독	185
가. 훈련지역의 추출	185
나. 감독분류 알고리즘을 이용한 영상판독	186
4. 결과의 평가	191
가. 오차행렬을 통한 정확도 평가	191
제 6 장 현장실험결과요약 및 제언	196

제 7 장 원격탐사 기술의 농업통계분야 활용방안	201
1. 경지 총조사 및 표본추출	202
2. 모집단 정비	213
3. 경지면적 통계	215
4. 작물재배면적 추정	219
제 8 장 농업통계분야의 RS기술 도입 로드맵	222
1. RS 기술 도입의 분야별 우선순위	222
2. 농업통계부문의 RS 기술 도입 방안	225
가. 2008년도 추진일정 및 소요예산(추정)	227
나. 2009년도 추진일정 및 소요예산(추정)	230
다. 2010년도 추진일정 및 소요예산(추정)	234
라. 2011년도 추진일정 및 소요예산(추정)	237
마. 2012년도 추진일정 및 소요예산(추정)	240
바. RS의 농업부문도입을 위한 5개년계획 종합	243
제 9 장 요약 및 결론	247
1. 연구의 목적	247
2. 국내 농업통계 생산 현황조사	248
3. 해외 농업통계의 RS이용 현황	250
4. 고해상도 위성영상을 이용한 현장실험	252
5. RS기술의 국내도입방안 및 로드맵	254

〈표 차례〉

〈표 1〉 증화기준	19
〈표 2〉 조사시기 및 주요조사작물	23
〈표 3〉 MARS project의 연구 내용	82
〈표 4〉 MARS 프로젝트 Activity A & B의 비교	84
〈표 5〉 MARS 프로젝트 1차시기의 증화상대효율 중앙값	89
〈표 6〉 상대효율의 중앙값	91
〈표 7〉 1998년 추정 경제성을 고려한 상대효율 임계치	92
〈표 8〉 CORINE 기반 정방형 단위구 증화의 효율성	93
〈표 9〉 Activity B의 정확도와 비교된 현장조사의 표준오차	98
〈표 10〉 층별 표본추출비율	104
〈표 11〉 벨트트랜sect법에 의한 정확도 검증	126
〈표 12〉 영상판독결과의 오차행렬(error matrix)	136
〈표 13〉 분리도 검정 매트릭스	160
〈표 14〉 감독분류결과와 연속수치지도 값과의 비교	169
〈표 15〉 적용 알고리즘별 오차행렬	173
〈표 16〉 전체 정확도(overall accuracy)	173
〈표 17〉 생산자정확도	174
〈표 18〉 논벼 판독 여부	175
〈표 19〉 오차지점의 현장확인표	177
〈표 20〉 영상분류결과에 따른 클래스별 면적	191

<표 21> 클래스별 검증지점의 개수	192
<표 22> 실험영상2의 감독분류결과 error matrix	193
<표 23> 전체정확도 및 Kappa-Statistic	194
<표 24> 각 클래스별 정확도	195
<표 25> 원격센서의 선정기준	203
<표 26> 현행층화단위의 RS영상판독	206
<표 27> 2008년도 사업 추진예산(추정)	20
<표 28> 2009년도 사업 추진예산(추정)	21
<표 29> 2010년도 사업 추진예산(추정)	27
<표 30> 2011년도 사업 추진예산(추정)	20
<표 31> 2012년도 사업 추진예산(추정)	22
<표 32> 연도별 추진 일정표	244
<표 33> 연도별 사업예산(추정)	246

〈그림 차례〉

〈그림 1〉 연구추진체계도	11
〈그림 2〉 농업통계 생산단계	13
〈그림 3〉 면적통계 생산과정	16
〈그림 4〉 미국의 면적통계 생산과정	28
〈그림 5〉 CDLP의 화면-일리노이주	36
〈그림 6〉 펜실베니아주 PSU, 단위구(segment)	44
〈그림 7〉 Area Frame 구축단계	45
〈그림 8〉 펜실베니아 층화지도	46
〈그림 9〉 층화작업을 위한 Landsat image	49
〈그림 10〉 디지털 래스터(좌)지형도와 벡터(우)지형도	50
〈그림 11〉 주 및 군단위의 농업통계	50
〈그림 12〉 영상 보정	52
〈그림 13〉 화상강조	52
〈그림 14〉 Area frame 구조	53
〈그림 15〉 토지이용층화	54
〈그림 16〉 층화작업 설명서 및 PSU 가이드	56
〈그림 17〉 디지털화 작업	57
〈그림 18〉 랜체스터군의 PSU편성현황	58
〈그림 19〉 샘플 추출	59
〈그림 20〉 샘플할당	60

<그림 21> 샘플선택결과	61
<그림 22> PSU118 DOQQ	63
<그림 23> PSU118번의 작업파일 및 단위구 편성	64
<그림 24> 펜실베니아주 렌체스터군의 STAT sheet	65
<그림 25> MARS프로젝트 Activity 1 시범지역	86
<그림 26> 체코지역 토지층화 및 표본단위구	88
<그림 27> 60개의 현장관측지역의 분포	95
<그림 28> MARS-프로젝트 & LUCAS-프로젝트	101
<그림 29> LUCAS survey의 운영 절차	103
<그림 30> 작물재배면적추정을 위한 연구체계도	111
<그림 31> 작물재배면적추정을 위한 층화작업(제3수준)	118
<그림 32> 작물재배비율추정을 위한 표본프레임구축	119
<그림 33> GVG 시스템의 hardware	125
<그림 34> 일본 SIDaB 시스템 화면	129
<그림 35> 연구추진체계도	131
<그림 36> 영상관독결과와 행정통계값과의 비교(논벼)	132
<그림 37> 연구지역의 시기별 관개상태	133
<그림 38> 농경지 이용형태 관독 절차	134
<그림 39> 연구지역의 농경지이용형태	135
<그림 40> 인도 주요 인공위성	138
<그림 41> 인도정부의 우주항공추진 조직도	139
<그림 42> IRS 영상을 이용한 작물 성장 관측	140

<그림 43> 현장실험1의 추진도	143
<그림 44> GCP 선정을 통한 좌표변환과정	146
<그림 45> 연속수치지적도 화면	148
<그림 46> 연속수치지적도(좌)와 영상(우)의 중첩	149
<그림 47> 추출된 연구지역 제1영상(좌)과 연속수치지적도(우)	151
<그림 48> 연구지역1과 군위군 행정경계도와의 중첩	152
<그림 49> 감독분류의 절차	155
<그림 50> 통계적특성에 기반 한 훈련지역의 선정	159
<그림 51> 평행사변형법의 분류알고리즘	162
<그림 52> Mahalanonis거리법의 분류 알고리즘	163
<그림 53> 최대우도법의 분류알고리즘	165
<그림 54> 평행사변형/Mahalanonis 적용 분류결과	166
<그림 55> 최대우도법 적용 분류결과	166
<그림 56> 최대우도법 분류결과(좌)와 연속수치지적도 경지면적현황(우) ..	168
<그림 57> 연속수치지적도를 이용한 단위구 좌표취득	172
<그림 58> 현장실험2의 체계도	180
<그림 59> 연구지역2(군위군 소보면일대)영상	184
<그림 60> 군위군 행정경계도와 실험영상2의 중첩	185
<그림 61> 훈련지역 추출(영상_2)	186
<그림 62> 실험영상2번의 감독분류결과	188
<그림 63> 실험영상2의 분류 전(좌),후(우) 비교-1	189
<그림 64> 실험영상2의 분류 전(좌)후(우) 비교-2	190

<그림 65> 위성영상을 이용한 1차 층화작업단계	208
<그림 66> 위성영상을 이용한 1차 층화작업 결과 검토단계	209
<그림 67> 현장조사를 비롯한 2차 층화단계	210
<그림 68> 최적표본단위구의 추출	211
<그림 69> RS적용 경지총조사 및 표본단위구 추출 흐름도	212
<그림 70> 비경지가 경지로 이용되고 있는 지역	215
<그림 71> 논·밭 이용 형태의 불일치지역	217
<그림 72> 원격탐사기술을 이용한 경지면적산출 체계도	218
<그림 73> 원격탐사기술이용 재배면적산출 체계도	220
<그림 74> RS기술의 농업통계부문 도입단계	224
<그림 75> RS기술의 경지총조사도입을 위한 연구추진단계	225
<그림 76> RS기술 경지총조사도입 추진도	245

제 1 장 서 론

1. 연구의 필요성

- 농업통계는 농업이 가지는 다원적 기능으로 인하여 국가의 식량 정책 뿐만 아니라 정치·경제·군사안보·환경보전 등에 관한 정책을 수립할 때 중요한 기초 자료로서 이용된다. 특히 경지면적 통계는 국가 식량산업의 기반인 토지자원의 확보와 관리 그리고 지속적 농업생산력의 보전을 위해 매우 중요한 자료를 제공한다.
- 또한 작물재배면적통계는 주요작물들의 재배동향과 수급량을 예측하는데 이용이 되며 정부관계자에게는 농산물의 수급 및 가격 대책, 재배기술지도 등의 각종 농업시책 자료로, 생산자에게는 작물재배계획 수립 자료로, 학계·연구기관에게는 학술연구자료 등으로 활용된다(홍석영 외, 2001).
- 우리나라의 경우 경지면적과 작물재배면적통계는 국립농산물품질관리원에서 생산하고 있다. 매 10년을 주기로 경지총조사가 이루어지며 이때 구축된 모집단을 바탕으로 표본 단위구가 추출된다¹⁾. 경지총조사의 주기가 매우 길기 때문에 급변하는 농업의 국내외 환경을 실시간으로 반영하기가 어렵다.

1) 2009년부터 5년을 주기로 하는 경지총조사 계획이 수립되어 있음

- Remote Sensing이라 불리는 원격탐사기술(이하 RS)을 농업부문에 도입한 주요국들의 경우 RS기술을 이용하여 경지(토지)를 증화하고 area sampling frame을 구축하는 방법을 통해 현장조사할 표본수를 줄이고 정확도를 향상시키고 있다.
- RS기술이란 대상물에 직접 접촉하지 않고 원거리에서 관측하는 기술을 말한다. 특히 인공위성영상을 이용한 RS기술은 최근 지표 및 농림수산 관측을 위한 효율적인 방법으로 이용되고 있으며 주요국들은 이러한 RS기술을 경지면적통계·작황관측·수확량 예측 등의 농업부문에 광범위하게 활용하고 있다.
- 미국의 경우 1970년대부터 인공위성영상을 이용한 원격탐사기술을 통한 경지이용현황(area sampling frame구축)과 주요작물에 대한 재배면적통계 산출 연구가 이루어져왔으며 2007년 현재 18개 주에 대한 해당 통계가 원격탐사기술을 통해 생산되고 있다. EU는 1980년 후반부터 소위 MARS(Monitoring Agriculture through Remote Sensing techniques)로 불리는 사업을 시작하여 경지면적 및 작물재배면적, 작황관측 및 수확량예측에 대한 RS기술을 축적하였다.
- 중국의 경우 많은 인구와 거대한 국토를 효율적으로 관리하기 위하여 식량수급에 대한 과학적인 관측시스템의 필요로 인해 중국 과학원이 중심이 되어 개발한 RS 기반의 중국작물관측시스템

(CCWS : China Crop Watch System)이 1998년 이래로 시범운영 중이며 다양한 연구가 진행 중에 있다.

- 우리나라와 농업의 구조가 유사한 일본의 경우도 1995년부터 원격탐사기술과 GIS기술을 이용한 경지면적과 재배면적산출의 시범 연구에 많은 투자를 하고 있다.
- 국내의 경우 지난 2006년 7월 발사된 아리랑2호(KOMPSAT-2)영상으로 인해 세계적인 고해상도 인공위성보유국이 되었음에도 불구하고 이를 농업통계생산에 활용하기 위한 연구는 매우 미진한 실정이다.
- 최근 농촌진흥청을 중심으로 위성영상을 이용하여 벼의 재배면적 및 생육상황을 모니터링 하는 연구가 진행되고 있으나 국내농업의 특성상 요구되는 고해상도 위성영상을 이용한 경지면적 및 작물재배면적통계생산에 관한 연구는 전무한 실정이다.
- 국내의 원격탐사기술 인프라 현황과 고급농업통계생산의 필요성을 볼 때 주요국들의 연구 수준에 발맞추어 국내실정에 맞는 원격탐사기술의 농업 통계적 활용방안에 대한 연구가 진행되어야 한다.

2. 연구의 목적

- 본 연구의 목적은 다음과 같다.
 - 기본목표 : 원격탐사기술을 농업통계조사 업무에 활용할 수 있는 방안을 제시하고 현장 시범연구를 통해 이를 검증하여 봄으로써 해당기술의 기술적·정책적 실용화 기반을 마련함.
 - 부속연구목표 1 : 주요 선진국별 농업통계분야 원격탐사기술 응용현황 심층조사
 - 부속연구목표 2 : 기존농업통계산출업무 분석 및 원격탐사기술을 통한 개선점 제시
 - 부속연구목표 3 : 현장시범연구를 통한 해당기술의 실용화 가능성 검토 및 시사점 도출
 - 부속연구목표 4 : 기존통계와 원격탐사통계의 연계방안 제시
 - 부속연구목표 5 : 원격탐사기술 농업통계활용의 정책적 장·단기 로드맵 제시

3. 연구 내용 및 방법론

가. 연구내용

- 주요 선진국별 농업통계분야 원격탐사기술 응용현황 심층조사
 - 주요국별 농업통계부문에서의 원격탐사기술 도입 배경 및 발전방향

- 면적통계를 중심으로 한 위성영상별 농업통계산출의 이용수준과 국내적용에 대한 시사점도출
 - 주요국별 영상판독(전수조사)결과와 현장조사(표본조사) 데이터를 통합하는 최신 통계모델 해부
 - 주요국별 원격탐사기술의 농업통계생산 활용에 필요한 제도적 및 정책적 지원 현황 분석
- 현행 농업통계산출업무의 분석 및 원격탐사기술을 통한 개선점 제시
 - 현행농업통계(경지면적·재배면적조사)의 조사 방법론 및 실무적 운영프로세스 분석
 - 현행 통계생산과정의 애로점과 원격탐사기술과의 연계시 개선될 수 있는 부문에 대한 시사점 제시
 - 경지면적조사 활용방안 : 합리적 모집단 단위구 설정(경지총조사), 경지 종류별 이용현황 산출방안, 경지정리 및 자연경감 등의 요소에 따른 경지면적 변화 탐지 방법 등
 - 재배면적조사 활용방안 : 원격탐사기술을 이용한 지역별 표본단위구 배정·추출방법, 경지이용실태 변화에 따른 표본 단위구 교체 등에 대한 응용방법 제시, 연 5회 실시되는 작물별 재배면적 조사에 대한 시기별 적정 위성영상 대체(활용가능 작목 및 통계 생산방법 등) 방법 등
 - 자연재해 등으로 인한 긴급 통계생산의 활용방안 등
- 현장시범연구를 통한 해당기술의 실용화가능성 제시 및 시사점 도출
 - 지리적 적합성, 경지면적, 경지이용현황 및 영상획득의 용이성 등

- 이 고려된 적정시범연구지역 선정
 - 연구목적에 맞는 영상 선택·판독기법별 영상분석을 통한 통계값 산출
 - 영상판독기법별 경지면적·재배면적(논벼)통계 산출 및 기존 통계치와의 비교분석
 - 경지면적·재배면적 통계 산출에 있어서 원격탐사 기술의 실무적 도입가능성 제시
- 기존통계와 원격탐사통계의 연계방안 제시
 - 원격탐사기술을 통한 인력절감, 정확도 향상 등의 통계 업무개선 방안제시
 - 원격탐사를 통해 현행 농업통계산출 과정 중 보완·대체될 수 있는 업무 프로세스의 제시
 - 위성영상판독을 통한 통계값을 활용하여 기존 표본조사 통계값의 정확도·품질을 제고할 수 있는 고급계량통계모델제시
 - 원격탐사기술 농업통계활용의 정책적 장·단기 로드맵 제시
 - 농업통계부문별 원격탐사기술의 단계적 도입을 위한 장·단기 로드맵 제시
 - 원격탐사 기술 도입에 따른 농업통계부문별 업무의 효율성 순차적 제고 방안제시
 - 시범 사업 및 실무적용 등에 따른 연차별 추진일정 및 주요 사업 내용제시
 - 국내 원격탐사 인프라 현황 분석을 통한 분야별 예상소요예산 및

인력계획수립

- 원격탐사기술을 활용한 농업통계산출을 위한 유관기관간의 업무 분담 체계 및 정책적 합의 제시

나. 연구방법

- 주요 선진국별 농업통계분야 원격탐사기술 응용현황 심층조사
 - 현지전문가와의 유·무선 교류 및 현지방문을 통하여 미국의 USDA/NASS(National Agricultural Statistics Service)에서 주관하는 원격탐사기술의 농업통계생산 활용의 도입과정 및 면적 통계 응용방법인 CASS(Computer Assisted Stratification and Sampling) 시스템, CDLP(Clopland Data Layer Program) 실용화 현황 분석.
- 농업 면적통계산출 이용 영상 현황 및 영상 관독기법 연구
- 위성영상을 이용한 농업 면적통계산출의 기술적 방법론 및 실무적 도입방안 해부
 - 유·무선 교신 및 국제 학회 관련 문헌연구를 통해 EU의 농업부분 원격탐사기술도입 프로젝트인 MARS-project(Monitoring Agriculture through Remote Sensing techniques-project)의 도입 및 발전배경 분석 및 농업통계부문별 세부프로젝트 운영현황해부
 - MARS 프로젝트내의 지역별 경지면적(Action 1) 및 작물별 재배면적(Action 4)통계 프로젝트 집중해부
 - 경지면적 및 재배면적의 현장방문조사를 위한 표본단위구 선정

방법에 관한 프로젝트(Action 6)집중해부

- 현행 토지이용조사시스템인 LUCAS의 RS응용현황 사례 연구

- 현지 전문가와의 유·무선교신 및 Web 서칭 등의 방법을 통해 중국 및 일본의 원격탐사기술의 농업통계 부문 도입에 대한 최근 연구현황 분석
 - 원격영상자료와 GIS를 결합한 경지면적 판별기법 연구
 - 중국과학원 개발담당자와의 유·무선교신을 통한 최근현황 연구
 - 「농림수산 위성화상 데이터베이스시스템SIDaB(Satellite Image Database System in AFF)」운영체계 및 농업통계업무 활용 부문 해부.

- 현행 농업통계산출업무의 분석 및 원격탐사기술을 통한 개선점 제시
 - 통계 담당공무원의 직접 면담 및 통계조사실무지침서 등의 탐독을 통해 면적통계를 중심으로 국내의 현행 농업통계산출업무 방법론 및 실무과정 해부
 - 선행연구를 통한 문헌조사 및 현장 실무 공무원 및 통계 이용자들(학계, 정계, 일반인 등)과의 면담 등을 통한 운영상의 애로점 및 통계이용의 문제점 분석
 - 원격탐사기술도입을 통한 현행통계부문별 효율성 개선 방안제시
 - 모집단의 단위구 구획 응용 및 재배작물별 특성에 따른 영상의 종류 및 판독 방법의 연구.
 - 재배작물별 면적 산출을 위한 영상별 이용방안 및 표본지역추출 및 대체방법 연구

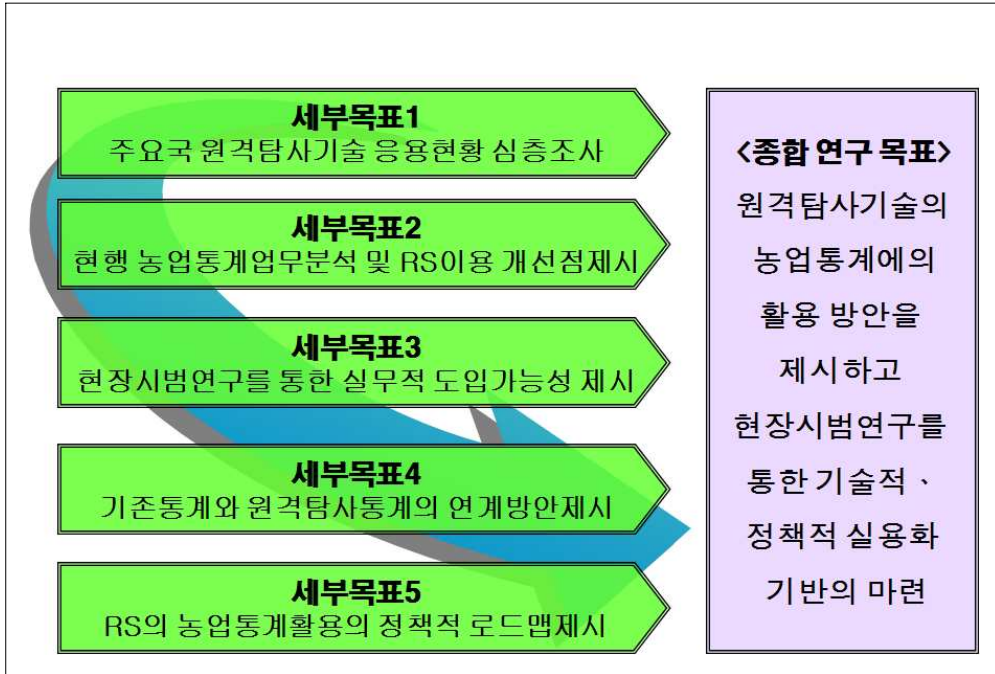
- 농업통계부문별 원격탐사기술로 보완 혹은 대체될 수 있는 프로세스 연구.
- 현장시범연구를 통한 해당기술의 실용화 가능성 검토 및 시사점 도출
 - 지리적 적합성, 경지면적, 작부체계 및 영상획득의 용이성 등을 고려한 시범지역선정 (고해상도 영상 필요시 정부의 정책적 지원 필요)
 - 위성영상 판독 전문 연구원을 중심으로 하여 영상판독작업을 통한 경지면적 통계 및 재배면적(논벼) 산출(필요시 외부에서 위성영상 판독 전문가 초청 자문 활동)
- 시범연구지역 전자지적도 이용 위성영상의 행정구역 추출
- ERDAS Imagine S/W를 이용한 영상의 감독분류(supervised classification)실시, 분광반사값의 분산분석을 통해 최적 threshold 결정 및 training sample 선정
- GPS를 이용해 training sample 지역 및 분류지역 현장 답사를 통한 분류의 정확도 검증 작업의 반복
- 판독결과의 정확도를 극대화 할 수 있는 원격탐사기술의 농업 경제적 판독기법 탐지
 - 영상판독을 통한 통계치와 기존표본조사 통계치와의 정확도 검증 및 상관관계 분석(Kappa 검정 등)
 - 표본조사를 통한 면적통계산출 프로세스와 위성영상판독을 통한 면적통계산출 프로세스의 비교 분석을 통해 원격탐사기술이 기존통계산출과정을 보완 혹은 대체할 수 있는 가능성 분석
- 시범연구를 통해 위성영상이용 통계값과 기존 표본조사통계값의

비교(신속성, 정확성, 경제성, 접근성)를 통한 실무도입타당성 분석

- 기존통계와 원격탐사통계의 연계방안 제시
 - 시범연구결과의 시사점 및 국내외 현황을 바탕으로 하여 실무자 면담 등의 방법을 통해 기존농업통계 부문별로 방법론 및 산출 프로세스에서 원격탐사 이용을 통해 보완 혹은 대체 가능 부분 연구(단위구 및 표본의 선정 및 추출 과정 등)
 - 해외에서 현재 운영되고 있는 통계기법등의 해부를 통하여 기존 표본조사를 통한 통계값을 원격탐사기술을 통해 보완 검증 혹은 대체 할 수 있는 계량 모델의 구축(regression estimator 등)

- 원격탐사기술의 농업통계활용의 정책적 장·단기 로드맵 제시
 - Web 서칭 및 국내외 문헌연구를 통하여 농업통계 부문별 원격 탐사적용 가능 범위 및 우선순위의 리스트 작성, 추진필요사업의 중요도 및 도입의 용이성을 고려한 우선순위 가중치 부여
 - Web 서칭 및 관련기관 방문조사를 통한 국내 항공우주기술 및 농업부문 전문인력 인프라 환경 분석
 - 국·내외 관련기관 방문조사 등을 통하여 국외 도입국 사례 및 국내현황을 고려한 예상소요예산 및 인력계획수립
 - 연구결과를 종합하여 국내 현황 및 우선순위를 고려한 시범도입 사업 및 본사업 추진일정수립(전체 연구원 참여하에 브레인스토밍 회의의 반복)
 - CFD 기법 활용 유관기관간의 업무적 분담 및 협력방안 체계 분석 및 장·단기 로드맵 구축

<그림 1> 연구추진체계도



제 2 장 국내 농업 면적통계 산출 현황

1. 국내 농업 통계 관련 법규와 조사체계

- 농업통계는 농업에 관련된 기본적인 통계를 작성하여 수요자에게 제공함으로써, 농업정책수립·영농의사결정 및 학술연구 등을 위한 기초자료로 활용하기 위하여 이용된다.
- 국내에서 생산되는 모든 통계는 기본법으로 통계청 주관의 통계법을 따르게 되어 있다. 1999년 제정된 통계법(법률 제 5691호)에서는 통계작성기관, 작성절차 및 공표, 통계작성자의 의무, 위법행위에 대한 벌칙 등에 관한 내용이 포함되어 있으며 농업통계도 동법규정에 의거 추진되고 있다(통계법시행령 1999).
- 농업통계조사규칙(2001. 3. 30, 농림부령 제 1384호)은 통계법시행령 제14조의 규정에 의하여 작물 및 가축통계에 관한 조사를 실시함에 필요한 사항을 규정하고 있다. 이 규칙에는 조사대상, 조사시기, 조사사항, 조사방법, 지도·감독, 보고, 조사결과 공표 등이 포함되어있다.
- 일반적인 농업통계의 생산단계는 ‘조사기획 → 표본설계 → 현지조사 → 집계 및 검토 → 조사결과 공표’의 순으로 이루어진다.(그림 2).

<그림 2> 농업통계 생산단계



- 조사기획단계는 작성코자하는 통계에 대한 기본적인 사항을 검토·분석하여 조사 방안을 설정하는 단계로서 조사내용, 조사일정, 통계의 정도, 조사방법(전수조사, 표본조사, 행정 조사 등), 집계 등에 대한 사항이 검토·결정되는 단계이다.
- 표본설계단계는 기획단계에서 표본조사로 결정된 것에 한하여 표본설계를 실시하는 단계이다. 표본설계는 연구기관이나 대학 등

통계전문기관에 의뢰하여 실시하며 표본설계가 완료되면 농업통계정보심의회의 심의와 통계청 협의를 거쳐 확정하게 된다. 일반적인 농업통계의 경우 보통 5년 간격으로 표본을 재설계하여 표본의 대표성을 유지한다.

- 현지조사단계는 논·밭 등 농지현장에 가서 조사하는 대지조사와 농업인 등 사람을 만나 조사하는 면접·청취조사로 이루어지고 있다. 국립농산물품질관리원(이하 농관원)의 시·군 출장소 조사공무원이 조사하고 조사표에 조사사항을 기재한 후 각 농관원 시·군 출장소에서 조사결과를 전산 입력하여 농관원 본원에 송신하게 된다.
- 집계·검토의 단계에서 농관원 본원 컴퓨터는 전국 시·군 출장소에서 조사된 결과들을 전산집계한 후 입력오류 및 내용 착오 등 검토하게 된다.
- 마지막 조사결과 공표단계에서는 조사결과를 통계청에 송부하여 통계청과 공표에 관한 사항을 협의한 후 유인물이나 인터넷망을 통해 생산된 통계를 공표하는 단계이다.

2. 면적통계 생산 개요

- 면적조사(경지 및 작물재배)는 농업생산의 기반인 토지자원의 확보와 이용, 작물생산계획 수립, 양곡수급계획수립, 농업정책 수행에 필요한 기초자료를 수요자에게 제공함을 목적으로 하는 것이다²⁾.
- 국내의 면적통계는 정부수립 이전부터 행정보고통계로 작성이 되었으며 1967년 지정통계로 지정되었다. 1973년에 최초의 표본설계가 시작되어 1974년부터 행정조사를 표본조사로 대체하였다. 1985년에 그 동안의 농업기반 변화와 주요작물의 작부체계의 변화를 반영하기 위해 표본을 재설계하여 1987년에 표본을 교체하였으며 1995년 시·군별을 기반으로 표본을 재설계하여 1995년부터 표본을 교체하였다.
- 1999년 5월 18일 ‘농업통계기본조사’가 통계청으로 이관됨에 따라 농업기본통계와 분리하여 경지면적조사를 지정통계로 별도 지정하였다³⁾. 2005년에는 주요작물의 주산지 시·군 통계 생산이 가능토록 표본을 재설계하여 2006년부터 표본을 교체하여 현행에 이르고 있다.
- 농관원에서는 통계법에 의거하여 통계청이 승인한 통계에서 농업통계조사규칙⁴⁾에 따라 경지면적조사와 작물재배면적조사 그리고

2) 농관원, 「면적통계조사요령」, 2007.

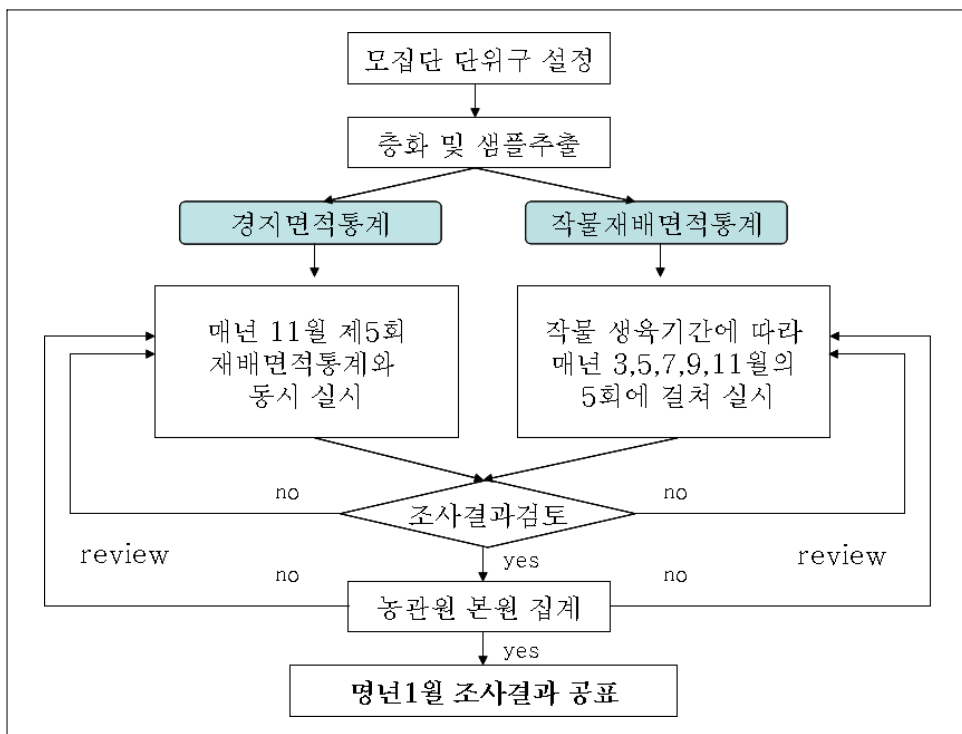
3) 경지면적조사 승인번호 11433호

4) (농림부령 제 1384호)

경지이용실태조사를 수행하고 있다.

- 모든 면적조사는 전국의 경지를 2ha 크기로 구획하여 931천개의 모집단 단위구를 설정하고, 그 중 표본으로 추출된 345백여개의 공통표본단위구와 48백개의 주산지 표본단위구를 대상으로 하여 현지 방문 조사한다.
- 작물재배면적 조사는 재배작물별 생육현황에 따라 연 5회에 걸쳐 현장조사하게 되며 경지면적조사는 제5회 작물재배면적조사(매년 11.15~11.30)시 병행 실시하게 된다.

<그림 3> 면적통계 생산과정



- 조사된 자료는 각 출장소 별로 조사 직후 ‘농업통계조사사후확인 점검지침’⁵⁾에 따라 확인 점검을 실시한다. 점검 시 확인점검기준에 의거하여 재조사 대상으로 선정될 때에는 지정된 여러 검증 방법으로 재조사 및 점검을 실시하게 된다.
- 또한 본원에서 종합적으로 추계된 전국단위 조사결과 또한 ‘농업통계조사사후확인점검지침’에 의거하여 재조사 및 점검을 실시하게 된다.
- 농관원에서는 원활한 통계조사 및 통계품질 향상을 위해 매년 조사요원에 대해 국가전문행정연수원 교육 및 자체교육을 실시하고 있으며 표본으로 선정된 농가 및 농지에 대한 조치로 작물생산량 조사대상 표본농가에 작물별로 포구 당 일정액의 피해보상금을 지급하고 있다.
- 이렇게 생산된 각종 통계조사 결과는 농림부 및 농산물품질관리원 홈페이지에 게시함과 동시에 유인물로 작성되어 농업관련기관·단체, 전국 농과대학 등 학술연구단체등에 제공되고 있다.

5) 국립농산물품질관리원 훈령 제 130호(2004.12.28.)

가. 경지총조사(모집단 구축)과 표본 추출

(1) 모집단 단위구 설정

- 전국의 경지를 토지대장과 지적도를 이용하여 시·군별, 읍·면·동별 인접 지번을 약 2ha 내외의 크기로 묶어 931천개의 모집단 단위구가 있으며 미등록지라도 경지로 이용되면 모집단에 포함되어 단위구로 편성되게 된다. 2007년 현재는 2005년 931천개의 모집단으로부터 서울대학교 복잡통계연구소에 의해 설계된 표본단위구들을 이용하여 면적통계 조사를 실시하고 있다.

(2) 층화

- 층화란 표본조사를 위해 모집단내에서 작물재배현황에 대한 성격이 비슷한 집단끼리 분류를 해 놓은 것을 말한다. 국내 면적통계를 위해 모집단 각 단위구들을 11개 성격의 층으로 구분하고 있다. 작물재배 현황에 따른 단위구의 층화 기준은 다음 <표 1>과 같다.

<표 1> 층화기준

층	층화기준		층	층화기준	
	논비율(%)	작물 재배형태		논비율(%)	작물 재배형태
1	100	벼	7	0~50 미만	조미채소 (고추, 마늘, 양파, 기타조미채소)
2	50~100 미만	벼	8	0~50 미만	특·약용
3	0~50 미만	맥류	9	0~50 미만	과수
4	0~100 미만	시설작물	10	0~50 미만	기타작물
5	0~50 미만	식량작물 (두류, 잡곡, 서류)	11	0~50 미만	기타
6	0~50 미만	채소류 (엽채, 과채, 근채, 기타일반채소)			

* 자료 : 국립농산물품질관리원, 「면적통계조사요령」, 2007

(3) 표본단위구의 추출

- 모집단으로부터의 표본단위구추출은 각 시·군의 구성된 층에 대해 적어도 2개 이상의 표본을 확보하는 것을 원칙으로 하여 ‘시·군별 층별 공통표본 가중치’를 적용하여 배정하게 된다.
- 또한 각 시·군별로 할당된 주산지 추가표본수는 모집단의 변경, 표본추출을 등에 관계없이 고정적으로 확보한다. 이미 설정된 조사단위구 중에서 경지정리, 개간, 간척, 유실매물 등으로 경지가 증감되거나 형질이 변경되었을 때, 매년 2월말까지 조사단위구를 정비하여 매년 3월 10일까지 본원에 보고하게 된다.
- 현재에는 2005년에 구축된 931천개의 모집단에서 추출된 345백 개의 공통표본단위구와 48백 개의 주산지 추가 표본단위구를 표본으로 이용하고 있다.

나. 경지면적 통계 생산

- 「농업통계조사규칙」에서는 ‘경지’를 전·답 또는 과수원 그밖에 그 지목여하에 불구하고 실제의 토지현상이 농작물의 경작 또는 다년생식물재배지로 이용되는 토지라고 규정하고 있다⁶⁾.
- 또한 경지면적을 규정할 때에는 부대시설⁷⁾을 포함하며 지적등부

6) 농림부령 제 1384호(2001.3.30)

에 경지로 등록되어 있지만 실제 농작물을 재배할 수 없는 면적은 제외하며 미등록지라도 농작물을 재배하는 토지는 경지에 포함하도록 되어 있다.

- 조사방법으로는 현지 실측조사로서 구축된 공통표본단위구와 주산지 추가표본단위구내의 증감사항을 조사하게 되며 표본단위구 내외를 불문하고 2ha이상의 대규모 경지증감이 있는 지역은 현지를 답방하여 전수조사를 실시하게 된다.
- 각 시·군별 면적 추계 방법은 다음과 같다.

층별 경지면적 추계 = 층별 전년도 경지면적 [±]

$$\left[\begin{array}{c} \text{층별} \\ \text{전년도} \\ \text{경지면적} \end{array} \times \frac{\text{층별 표본단위구} \\ \text{증감사유별면적}}{\text{층별 표본단위구} \\ \text{경지면적}} \right]^{\pm} \text{ 전수조사면적}$$

- 즉, 표본조사를 통해 나타난 표본지역 경지의 증감률을 전년도 전체 경지면적의 증감량으로 간주한 후 전수조사 된 대규모 증감지역의 면적을 증감하여 추정한다.
- 이렇게 추산된 각 시·도별 경지면적을 합산하여 도 단위 경지면적을 구하고 각 도 단위의 경지면적 추계치를 합산하여 전국의

7) 규반과 전용하는 폭 1m이하의 농로, 수로, 유지 및 양배수시설m 10평 미만의 토사암, 암석 및 전주 점유면적과 농막, 퇴비사 등으로 이용되는 면적을 의미함.

경지면적을 추정하게 된다.

다. 작물재배면적 통계 생산

- 「농업통계조사규칙」에 따르면 ‘작물통계조사’를 대한민국 영토 내에서 재배되고 있는 작물의 생산현황을 파악하기 위하여 실시하는 조사로서 통계법 제 4조의 규정에 의하여 통계청장이 지정·고시한 조사로 정의하고 있다. 작물재배면적조사 또한 이러한 작물통계조사의 일환으로 실시되고 있다.
- 작물재배면적조사는 필지별로 면적을 실측 또는 목측으로 조사하게 된다. 작물의 생육시기가 다르기 때문에 연 5회에 걸쳐 분산 조사하게 되며 각 시기별 조사목록은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 조사시기 및 주요조사작물

구분	조사시기	재배면적 확정작물
제1회 조사	3.25~4.8	맥류(맥종별), 마늘, 양파
제2회 조사	5.18~5.30	봄감자, 사과, 배
제3회 조사	7.5~7.20	벼(논벼, 밭벼), 고랭지감자, 고추, 땅콩, 경지이용실태 등
제4회 조사	9.20~10.4	김장채소 등 전작물
제5회 조사 (*경지면적조사와 병행)	11.15~11.30	(주요 조사 작물) 익년도산 맥류, 마늘, 양파 등

* 자료 : 국립농산물품질관리원, 「면적통계조사요령」, 2007

- 조사는 표본단위구 내의 전 작물의 재배면적을 조사하며 표본단위구 내외에 관계없이 2ha이상 집단적으로 작물을 재배하게 되는 경우는 현지를 확인하여 전수조사하게 된다.
- 각 시·군별 작물재배면적의 추계식은 경지면적의 그것과 유사하며 다음과 같다.

$$\text{추계 재배면적} = \frac{\text{총별 표본단위구 해당작물 재배면적}}{\text{총별 표본단위구 경지면적}} \times \text{총별 전년도 경지면적} + \text{전수조사 면적}$$

- 즉 각 시·군별 작물재배면적은 표본단위구내의 특정작물의 재배면적의 비율을 전년도 경지면적을 바탕으로 환산한 후 전수조사된 재배면적을 추가하여 추산된다.
- 추산된 각 시·군별 작물재배면적은 도단위로 합계되어 도의 재배면적으로 이용되게 되며 도별 재배면적은 합계되어 전국단위의 작물재배면적으로 이용된다.

3. 국내 면적통계생산 방법의 시사점

- 우리나라는 1973년 이래로 표본설계를 통한 경지면적 및 작물재배면적통계생산을 실시하여 왔다. 농업기반 환경의 변화와 주요작물의 작부체계의 변화를 반영하기 위하여 이후 약 10여년을 주기로 3회의 표본재설계가 있었으며 2007년 현재에는 2005년 구축된 표본으로 표본조사가 실시되고 있다.
- 구축된 모집단은 작물재배현황에 따라 총 11개의 층으로 층화된 후 각 층별로 비율에 맞게 표본 단위구가 추출되며 특수 작목의 통계를 반영하기 위하여 주산지 추가표본은 별도로 확보하여 조사를 한다.
- 경지면적통계는 매년 11월 제5회 작물재배면적 통계 조사 시 함께 병행하여 조사하게 되며 재배면적통계는 작물의 생육상황에

따라 연간 5회에 걸쳐 조사하게 된다.

- 통계 추산 방법은 각 시·군별로 전년도 통계값에 표본단위구내의 변화 비율을 증감시켜준 후 대단위 경지 혹은 재배면적의 증감으로 인한 전수 조사값을 증감시켜주어 추산하게 된다. 각 시·군별 통계값은 각 도 및 전국단위로 합계되어 통계값을 생산하게 된다.
- 현행 면적통계는 근본적으로 표본조사로 이루어지기 때문에 표본조사에서 오는 많은 문제점을 가지고 있다. 또한 표본설계 자주 이루어지지 못하고 약 10여년을 주기로 이루어지기 때문에 모집단을 이루는 표본편성 자체가 급변하는 경지상황의 변화와 작부체계의 변화를 반영하는 데는 많은 무리가 있다는 것이다. 따라서 경지총조사를 통한 모집단 설계와 표본단위구의 추출 주기가 좀 더 빨라져야한다.
- 둘째, 기본적으로 표본조사가 가져오는 표본오차(sampling error)를 수반하고 있다. 현재의 면적통계 생산 체계 하에서는 전수조사의 어려움과 표본조사의 불완전성이 동시에 존재하고 있다.
- 전수조사는 현재의 통계조사 여건을 고려할 때 현실적으로 불가능하여 이에 대한 대안으로 표본조사가 활용되고 있으나 방대한 현장 답사가 요구되는 농업통계의 특성상 잘못된 표본추출이 발생 할 수 있으며 이 경우 조사치와 현실치와의 괴리가 불가피하

계 발생할 수 있다.

- 셋째, 매년 경지면적 및 작물재배면적을 추정할 때 전년도의 통계값을 기준으로 표본단위구내의 증감상황을 반영하기 때문에 잘못된 통계값이 누적되어 해가 거듭할수록 편의가 커질 수 있는 가능성이 존재하고 있다.
- 마지막으로 현행 면적통계생산은 최소 시·군단위로 생산되기 때문에 기초지방자치단체에서 필요로 하는 면단위 혹은 동단위의 세밀한 통계의 생산·보급이 불가능하다. 이러한 통계는 중앙정부가 정책수행 및 정책방향을 설정하는 통계로는 적합하나 지역 사회 농업발전에 대한 기여도는 낮다고 볼 수 있다.

제 3 장 주요국들의 원격탐사기술 응용사례

1. 미국의 농업통계분야 항공우주기술 응용

가. 면적통계의 RS기술 이용현황

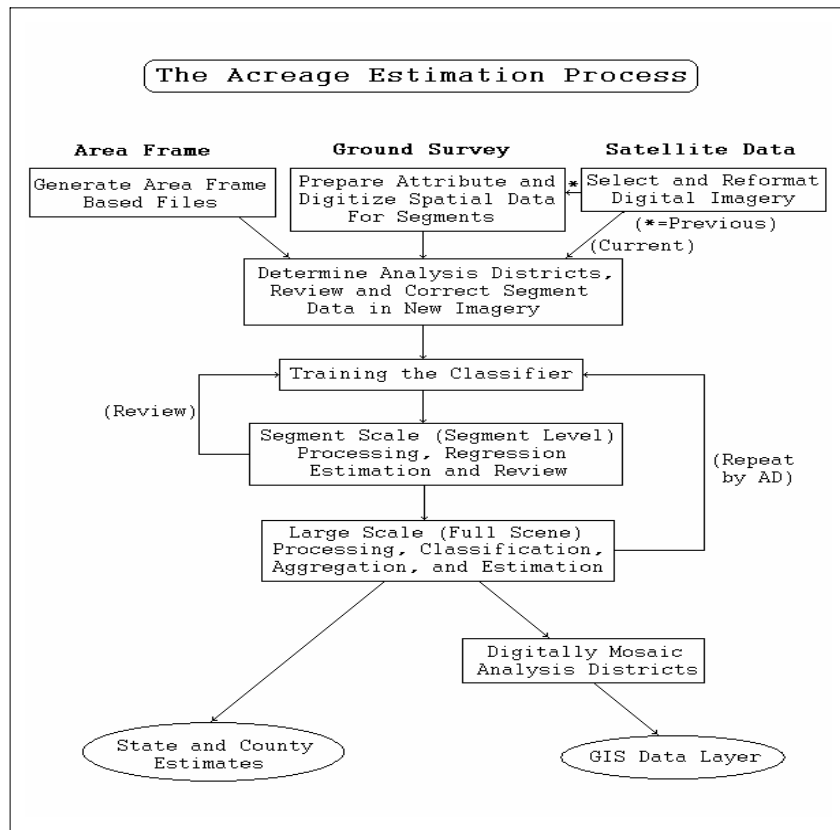
- NASS로 불리는 미농무부의 국립농업통계국(The National Agricultural Statistics Service of the United States Department of Agriculture)은 1972년 Landsat-1호가 발사되면서부터 원격탐사 기술을 농업에 응용하여 토지이용현황(경지면적통계)과 주요 작목별 재배면적통계생산에 응용하는 방법을 연구하여왔다.
- 농업분야에 있어서 원격탐사의 응용은 지난 수십 년간의 지속적인 연구로 인하여 현재에는 미국의 농업통계생산에 있어서 매우 중요한 요소로 자리 잡고 있다. 면적통계 생산에 있어서 원격탐사 응용부문은 크게 두 가지로 구분 지을 수 있다.
- 첫째는 농업 통계 조사의 근간이 되는 Area sampling frame 구축작업에 주요 투입요소로서 이용하는 것이고 둘째로는 시범연구 주8)들에 한하여 영상판독에 의한 작물재배면적을 이용해 작물재

8) 2007년 현재 원격탐사기술을 이용하여 재배면적을 산출하고 CDL(Crop Data Layer)프로그램으로 제공되는 주는 18개 주임.

배면적 추정의 정확도를 획기적으로 향상시키는 방법의 투입요소로 이용되는 것이다.

- 원격탐사기술을 응용한 미국의 면적통계생산체계를 나타내면 다음 <그림 4>와 같다.

<그림 4> 미국의 면적통계 생산과정



- 원격탐사기술에 기반 한 면적통계생산 체계를 살펴보면 먼저 원격탐사영상을 분류하여 토지를 증화하고 증화결과에 맞게 토지를

구획하여 area frame을 구축한다. 구축된 area frame을 바탕으로 하여 각 층별로 현장조사 될 단위구가 추출되며 현장조사결과와 영상판독결과를 비교할 분석지역(analysis districts)을 선별한다.

- 선택된 분석지역내의 영상분류결과와 현장조사결과를 이용하여 면적을 산출한 후에 이 결과를 바탕으로 전체 영상을 분류함으로써 전 지역의 면적값을 산출한다. 이러한 작업들을 통하여 크게 두 가지 형태의 통계결과물이 생산된다. 계량적 수치로 나타난 행정적 작물재배면적과 디지털정보로 구현한 작물 GIS데이터 레이어(CDLP : Crop Data Layer Program)이다.
- 주요작물들의 계량화된 재배면적데이터는 군 및 주단위로 집계된 후 NASS 현장 사무소에 전달되며 디지털 GIS 데이터는 일반 상용 GIS형태로 제작된 후 CD-ROM의 형태로 무료로 배포된다.
- 프로젝트의 시작년도를 제외하고 CD내에는 전년도 및 현행년도 모두의 토지분류, 속성정보, 오차범위를 비롯하여 데이터생산과정의 정보가 담겨 있다.
- 위성영상의 처리 및 통계값 생산을 위해 영상처리 및 통계생산 작업은 본 사업을 위하여 NASS가 연구관련기관과 함께 내부적으로 개발한 PEDITOR 전용 소프트웨어를 이용해 이루어진다.
- NASS 내부에서 이루어지는 영상처리 주요세부과정들은

ISODATA 알고리즘에 기초한 modified supervised clustering, 표준 최대우도법 알고리즘에 기초한 분류작업, 카과계수에 기초한 분류작업에 대한 평가와 회귀분석, 회귀분석과 비율추정치에 근거한 재배면적통계, ERDAS imagine 소프트웨어로의 전체 영상의 분류, 마지막단계로 ERDAS를 이용한 전체 주(州의) 영상 융합(mosaics) 및 ESRI ArcExplorer viewer를 이용한 CDL CD-ROM의 배포단계로 이루어진다.

(1) NASS의 원격탐사 응용프로젝트의 역사

- 토지이용 및 재배면적 통계생산에 있어서 원격탐사기술이 이용되기 이전에는 항공사진을 이용하여 Area sampling frame을 구축하고 이에 기반한 샘플 단위구의 추출을 통해 농가방문조사, 농업인 리스트 등을 통해 토지이용현황과 주요작물의 재배면적을 추정하였다. 이 방법은 많은 비용과 시간을 요하면서도 높은 정확도를 보여주지는 못하였다.
- 미국의 원격탐사응용 초기의 연구들은 주로 농가 목록수나 샘플 지역 방문횟수를 줄이면서 재배면적의 정확성을 높일 수 있는지에 대한 가능성을 탐지하는데 초점을 두고 있었다. 초기 연구에서 위성영상이미지들은 연구비의 절약과 연구의 원활한 진행을 위하여 NASA(미항공우주국)를 통해 NASS에 공급되어졌으며 초기연구들은 이미지 처리와 통계적 추론을 위한 하드웨어와 소프트웨어 등의 전용 컴퓨터시스템을 개발하는 것에 집중되어 있었다.

- Landsat 1,2,3는 다중분광센서(MSS)만을 운영하기 때문에 영상의 디지털처리를 위해 개발된 소프트웨어들은 근본적으로 Landsat영상에 특화된 MSS의 특성들을 기본으로 하여 개발되었다.
- 이미지처리작업은 main-frame computer, mini-computer, super computer의 통합적 운영에 의해 달성되었다. 퍼듀대학의 연구팀이 개발한 LARSYS 소프트웨어는 향후 개발되는 소프트웨어들의 근간으로 이용되었다. 이로부터, NASS, USGS(미국지질조사소), 일리노이대의 center for advanced computation 등의 공동연구에 의하여 EDITOR라 불리는 이미지 처리와 통계적 생산과정 모두를 포함하는 모듈패키지 소프트웨어가 개발되었다.
- 프로젝트 초기의 디지털화 작업에는 미니컴퓨터가 이용되었다. 진체 주에 대하여 면적을 추정하는 첫 프로젝트로 1975년에 Landsat MSS 영상으로 일리노이주의 옥수수과 콩 재배면적을 추정하는 2년차의 연구가 진행되었다.
- 다음 주요사업은 12월 말 농번기후 추정을 위해 1978년에 Landsat 영상을 통해 아이오와 주의 옥수수와 콩의 재배면적에 대한 연구한 프로젝트였다. 이 프로젝트는 현재 NASS에서 원격 탐사용용의 첫 번째 실무적 연구로 평가되고 있다.
- 이 사업은 1980년 미농무부장관의 'Agricultural and Resources

Inventory Surveys Through Aerospace Remote Sensing(AgRISTARS)'에 대한 혁신적인 추진에 큰 탄력을 받아 확대될 수 있었다. 1987년까지, Landsat MSS 이미지에 기초한 8개 주의 주요작목에 대한 면적 추정값들이 도출되었다. 대부분의 과정들이 중앙기관의 연구원들에 의해 수행되었지만, 일부 현장 경계선 디지털화 작업 등은 지역(州 : state)으로 이전되었다.

- 1987년 가을, Landsat위성에 TM(Thematic Mapper)센서가 도입되면서 Landsat MSS 스캐너로부터의 디지털데이터 수집이 불가능해지게 되어 NASS의 면적 추정 연구는 Landsat TM 이나 SPOT MSS 센서를 이용하는 것으로 전환되었다. 미국의 대부분의 주요작물이 재배되는 4개의 시범연구 주가 Landsat TM과 SPOT MSS를 이용하는 연구에 채택되었다⁹⁾. Landsat TM의 영상을 다중분광의 형태로 병합하고 SPOT 센서의 데이터를 이용할 수 있는 필수 소프트웨어의 개발이 추진되었다.
- 이와 동시에 소프트웨어들은 IBM 메인프레임에서 DOS체제하의 high end PC 워크스테이션에서의 구동체제로 전환되었으며 이때부터 현재 이용되는 이름인 PEDITOR 혹은 portable-EDITOR라고 명명되었다. 이시기 대부분의 연구들은 중앙본부에서 센서들의 비교연구와 소프트웨어 개발에 소요되었다.
- 1991년에 시작하여 ‘델타프로젝트’로 알려진 후속 사업은 Landsat

9) Kansas-1986, Michigan-1987, Arkansas & Iowa 1988

TM에 기반한 알칸사스와 미시시피 주의 재배면적 추정 사업이었다. 이 사업은 1992년에 루이지애나 주까지 확대되었다. 1993년에서 1996년도 사이에 1~2편의 영상을 가지고 하는 몇몇의 작은 시범연구가 있었다. 몬타나주의 인디언 보호구역(Indian reservation)에 대한 소규모 경작지에 대한 연구가 1993년도에 있었으며 다코타주의 봄밀 면적에 대한 추정연구가 있었다.

- 또한 1996년에는 고해상도영상을 이용한 캘리포니아의 아몬드 분류방법에 대한 시범연구가 있었다. 이 기간동안 IRS(Indian Resources Satellites)¹⁰⁾의 LISS 스캐너의 디지털 데이터를 이용할 수 있도록 PEDITOR가 업그레이드 되었다. 다코다주의 봄밀 추정 연구는 계량적인 추정결과에 대하여 획기적인 결과를 내어 놓지는 못하였지만 외부 관련자들의 문서 및 디지털형태의 결과물에 대한 요청에 따라 특정 작물의 주제도를 생산하는 결과를 이끌어 냈다.
- 1996년 농업정책의 변화는 각 군(county)단위 재배면적의 행정데이터의 필요성을 감소시켰으며, 원격탐사는 보조데이터로 간주되었다. 외부이용자들이 보여준 영상분류에 의한 특정작목주제도에 대한 호응은 영상 분류가 단순히 계량적인 추정치를 얻기 위한

10) IRS 위성 체계는 인도 정부 우주부 (Department of Space, Government of India)산하 인도 우주 연구 사업단 (Indian Space Research Organization: ISRO)이 주도하는 인도 고유의 지구 관측 위성 프로그램임. 체계 시험 위성인 IRS-P 시리즈를 모태로 하여, 1988년 3월 IRS-1A호가 발사된 이후 현재까지 총 5기의 IRS 실용 위성이 발사되었으며, 현재 1995년 12월 발사된 IRS-1C와 1997년 9월에 발사된 IRS-1D호가 운용되고 있으며 공간해상도는 5.8m(pan)임.

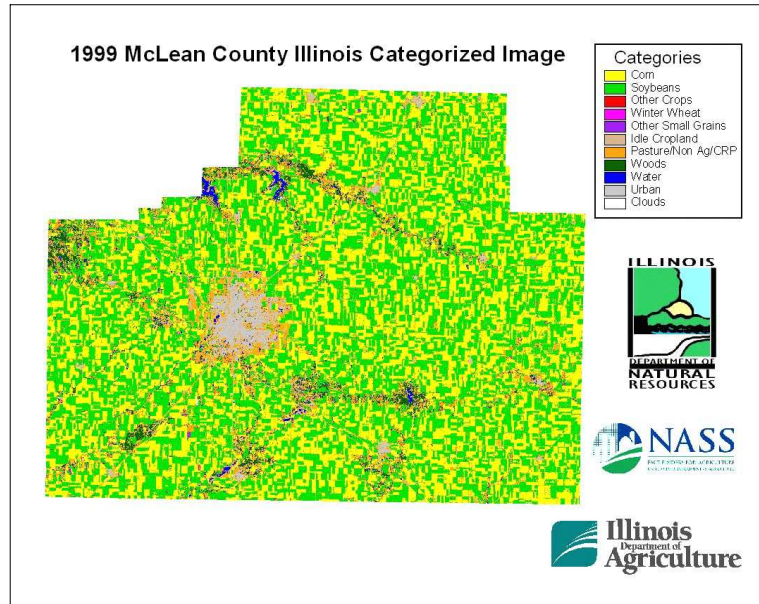
input 데이터로만 여겼던 기존의 인식에 변화를 가져와 이미지 분류의 유틸리티를 향상시키는 결과를 가져왔다.

- 이 시기에 PEDITOR에 기반한 전문가 시스템(Expert System)의 테스트가 실시되었으며 USDA의 FAS(Foreign Agriculture Service)의 PECAD(Production Estimates and Crop Assessment Division)이 NASS에게 매년 Landsat TM 영상을 공급해주기로 협약을 체결하였다.
- FAS와 USDA's FSA(Farm Service Agency)는 원격탐사 기술의 전문가와 설비를 공유하고 미국 및 해외지역의 대용량의 영상을 할인된 가격에 구입함으로써 오랜 협력 체제를 구축하여 왔다.
- 이전에는 라이선스 제한으로 인해 Landsat 데이터는 FAS/FSA 설비와 이를 직접 운용하는 직원들 이외에는 반출을 금지되었으나 새로운 USDA의 라이선스 규정(영상판매업체와 1998년 후반에 체결)은 영상구입에 대한 연구비 소요를 획기적으로 감소시켜 줌으로써 Landsat 데이터를 확장한 전문가시스템의 개발을 촉진하게 되었다.
- 1997년 연구사업들은 알칸사스, 노스 다코다, 사우스 다코다의 3개주에 대하여 주(state)단위, 군(county)단위 재배면적의 실시간 추정으로 확장되었다. ‘원격탐사 시스템(RSP : Remote Sensing Program)이라고 불리는 전문가시스템의 첫 번째 버전은 위의 각

주의 사무소에 배포되었으며 각 사무소에서는 이 프로그램을 통하여 현장 데이터와 필지 경계선 등을 디지털화 하였다.

- 원래 RSP시스템은 DOS FoxPro task management procedures와 필수 PEDITOR 모듈의 결합으로 구성되어 최종사용자에게 GUI 인터페이스의 형태로 제공하도록 구축되었다. 이는 현장사무소의 이용자들이 손쉽게 동시에 여러 업무를 처리할 수 있도록 하는 결과를 가져왔다. 현장실무자들에게 현장데이터입력과 디지털화 작업 등이 이루어졌으며, 분석과 이미지 처리 등은 중앙기관에서 수행하였다.
- 세 주에 대하여 각 주별로 영상들이 융합(mosaic)되어 하나의 이미지로 생산되었으며 관련자들에게 배포되었다. 1998년도에도 3개 주에 대하여 지속되었으며 각 주 사무국에 RSP 전문가 시스템에 기반 한 Visual FoxPro 시스템이 도입되었다. PEDITOR는 16비트에서 32비트로 전환되었으며 대용량의 처리가 가능하도록 확장되었으며 The BATCH 모듈은 전문가 시스템의 다음분야로서 대용량의 작업처리를 위해 윈도우즈 NT 콘솔모드와 병합되었다.
- RSP전문가시스템과 BATCH 모듈의 조합은 3개 주로부터 연구팀의 인력절감의 효과를 가져왔으며 각 주들에 대하여 상업적 GIS 벤더 포맷과 ArcExplorer가 제공하는 free viewer가 포함된 민간 배포목적의 CD-ROM이 제작되었다.

<그림 5> CDLP의 화면-일리노이주



(2) RS기술 이용 면적추정 과정

- 앞서 언급된 것처럼 주요 프로젝트 작업은 지상 현장 자료의 수집, 경계선의 디지털화, 당해 년도 최적 위성영상의 적절한 선택, 선택된 위성영상내의 현장 표본지역의 위치와 검토 작업, 현장 훈련지역(training area)의 분류작업, 분류결과에의 평가, 전체영상의 분류, 면적 추정 마지막으로 민간 배포목적의 GIS 데이터 레이어의 구축의 순서로 이루어진다.
- 이러한 운영프로세스는 NASS의 중앙기관과 각 주별 사무소 및 여러기관과의 업무분담체계를 통하여 이루어지고 있다. 먼저 현장 조사 준비는 전 과정의 가장 첫 번째 과제로서 NASS는

JAS(June Agriculture Survey)로 불리는 전국적인 농업 통계 조사프로그램을 운영하고 있다. JAS는 재배면적에 대한 현장조사를 위해 각 층(strata)별로 무작위로 선정되는 샘플지역을 이용해 전체면적을 산출하기 위한 현장조사 프로그램이다.

- 매년 6월 평균면적 약 1제곱마일 크기의 11,000개 이상의 단위구(segment)가 샘플지역으로 선정된다. JAS의 각 단위구들에 대한 정보 마스터 데이터셋은 RSP의 지상 데이터 운영 시스템으로 입력되어 디지털화 되어야 하는데 이 작업은 주로 인적 자원에 의하여 이루어지고 있다. NASS 본부의 지리학 전문가들이 경계선들을 디지털화하고, 지리적 보정작업을 거친다.
- JAS를 통해 샘플단위구들은 각 주별 통계 사무국의 조사요원들에 의하여 면대면 조사가 이루어진다. 원격탐사 운영담당자가 각 주사무국에 배치되어 있으며 지상자료 수집과 이의 디지털화를 담당하고 있다. 이 단계에서 주로 사용되는 소프트웨어는 주로 PEDITOR를 모듈로 이용하는 전문가시스템에서 파생된 RSP로 구성되어 있다.
- Landsat TM 이미지는 PECAS로 불리는 FAS/FSA의 본부기구와의 협력체결에 의해 제공받으며 NASS는 PECAD에 내부적 영상 처리 등에 대한 비용을 지불하게 된다. PECAD는 Space Imaging Inc.로부터 세계 전지역의 농작물재배지역의 구름비율 50%이내 상태의 모든 영상을 제공받을 수 있으며 PECAD는 USGC ROS

Data Center/Radasat International에서 특정지역에 대한 영상을 요청하면 Landsat 7호의 영상을 주문하여 준다.

- NASS 본부의 연구자들이 현행년도의 이용 가능한 영상들의 견본을 검토한 후 연구에 이용할 영상들을 선택하게 된다. PECAD로부터 주문한 영상을 받으면 영상의 사본을 각 주별 사무소에 배포한다.
- 현행연도 이미지에서 혼련지역을 검토하는 작업은 선택영상을 PEDITOR 포맷으로 전환하는 것으로부터 시작한다. PEDITOR에 탑재된 BATCH 모듈에 기반한 윈도우즈 NT는 영상의 포맷을 자동으로 변환하며 다중분광영상을 생성하여 준다. 각 위성영상 내의 단위구들은 현장에서 현장조사자료와 영상의 정보가 일치하지 않는 불량영상을 식별하는 방법을 통해 검토된다.
- 현장이 이미 수확을 마쳤거나, 작황이 매우 나쁜 경우, 구름이나 안개 등으로 샘플지역이 가려져 있는 경우, 경계선이 불명확한 경우, 목측조사결과가 농가가 보고한 내용과 다른 경우 등에 대한 검토 작업도 함께 이루어진다. 정정되기 어려운 문제를 가진 필지들은 선별처리 후 '샘플불량지역(bad for training)'으로 분류되며 구름 등으로 가려진 단위구는 고려의 대상에서 제외된다.
- 이러한 영상처리 작업들은 숙련된 원격탐사 전문가를 필요로 한다. 이 단계의 컴퓨터 작업은 최소 수십 기가(gigabyte) 이상의 하드용량을 가진 윈도우즈 NT 워크스테이션의 운용이 요구되며

이때도 PEDITOR와 RSP 시스템으로 운영된다.

- 현장 정보가 확보된 훈련지역(training area)의 분류작업은 BATCH 모듈을 이용하여 자동적으로 수행된다. NASS가 운영하는 자동화과정은 토지피복의 신호에 따라 수정된 감독분류방법(modified supervised approach)을 이용하고 있다.
- 이 방법론은 현지 정보가 잘 알려진 단위구 내의 픽셀들을 토지 피복 형태에 따라 개별적인 파일로 선별하여 저장한 후 각 픽셀들은 ‘수정된 ISODATA 알고리즘(modified ISODATA algorithm)’을 이용하여 군집화가 수행된다. 모든 토지 피복형태에 대한 통계적 결과값들은 최대우도분류법(Maximum likelihood classifier)을 수행하여 영상을 분류하기 위한 input 데이터를 위해 하나의 통계값으로 통합된다. 훈련지역으로 선정된 샘플단위구의 모든 픽셀들은 이 기법을 이용하여 분류된다.
- 분류결과의 평가에 이용되는 통계값의 계산도 BATCH 모듈을 이용한다. 식별된 픽셀들은 현장 조사를 통한 정보와 분류작업을 통해 분류된 결과들을 비교하여 도표로 정리되며 자동적으로 백분율 정확도(percentage correct), 과대오차(commission error), 카파계수(kappa coefficient) 등이 계산되어 나온다.
- 또한 분석구역내 단위구 단계에서 현장조사자료와 분류자료를 이용해 회귀계수를 산출하게 된다. 어떤 신호(signature)가 분류의

오류를 유발하는가를 검정하기 위하여 필지별 분석도 수행된다. 원격탐사 연구가는 이러한 결과물을 검토하고 수정하거나 최종 분류작업들을 위한 양질의 통계정보의 생산을 위해 BATCH를 재시작하기도 한다.

- 전체 영상(full scene)의 분류작업은 위에서 운용되었던 듀얼 윈도 우즈 NT 워크스테이션상에서 컴퓨터에 의하여 자동적으로 수행되는데 이 작업은 자동화된 BATCH 모듈에 의해 이루어진다.
- RESTP로 불리는 새로운 PEDITOR 모듈이 재배면적 산출기능을 자동화하기 위하여 개발되었다. RESTP는 전문가시스템의 마지막 버전이며 작물년도(crop year) 2000 데이터 셋을 이용하여 테스트되고 있다.
- 이 모듈은 다른 PEDITOR 모듈을 수행하여 분류된 전체 영상(full scene)과 현장 정보들을 투입하여 주(state)단위, 군(county)단위의 재배면적을 산출한다. 원격탐사 전문가가 단계별로 모든 과정을 검토하며 일부 샘플지역에 대하여는 회귀분석이 요구되기도 한다.
- 마지막 단계는 GIS 데이터 레이어를 일반적인 상용 형태로 제작하는 단계이다. PEDITOR 시스템은 개별적인 전체영상(full scene)의 분류결과를 일반적 위성영상 처리 소프트웨어인 ERDAS Imagine 패키지와 호환되는 형태로 출력할 수 있다.

- ERDAS 소프트웨어를 이용하여 주 단위로 지리적 보정절차를 거친 ERDAS LAN 형태가 생성됨. 현재의 융합(mosaic)된 영상과 전년도 융합영상이 CD-ROM에 분류오차와 분석방법론 등의 정보와 함께 입력된다.
- ESRI가 개발한 ArcExplorer free viewer가 CD-ROM에 포함되어 사용자들은 특별한 소프트웨어의 설치 없이도 각종 정보들을 열어 볼 수 있다. CD-ROM의 사본들은 NASS 웹사이트에서 무료로 배포된다.

나. Area Sampling Frame 구축의 개요와 RS이용현황

(1) Area Sampling frame의 정의

- NASS는 1954년 이래로 재배면적, 생산비, 농가경영비, 수확량, 낙농현황 등의 정보를 수집하는 수단으로 area sampling frame을 이용하여 왔다.
- Area frame은 주(州)와 같은 대상지역의 전 토지 구획을 리스팅해 놓은 것으로 각 필지들은 소유주 및 NASS에 의하여 구축된 물리적 경계선에 따라 구분되어져 있다.
- Area frame은 샘플링화 될 수 있는 모집단 및 제 구성요소들을 규정하는 것으로서 샘플추출을 위해 작성된 모든 필지들의 목록

(혹은 지도상의 표식)이라고 할 수 있으며 우리나라의 경우 경지총 조사를 통해 구축된 모집단 단위구와 같은 것이라고 할 수 있다.

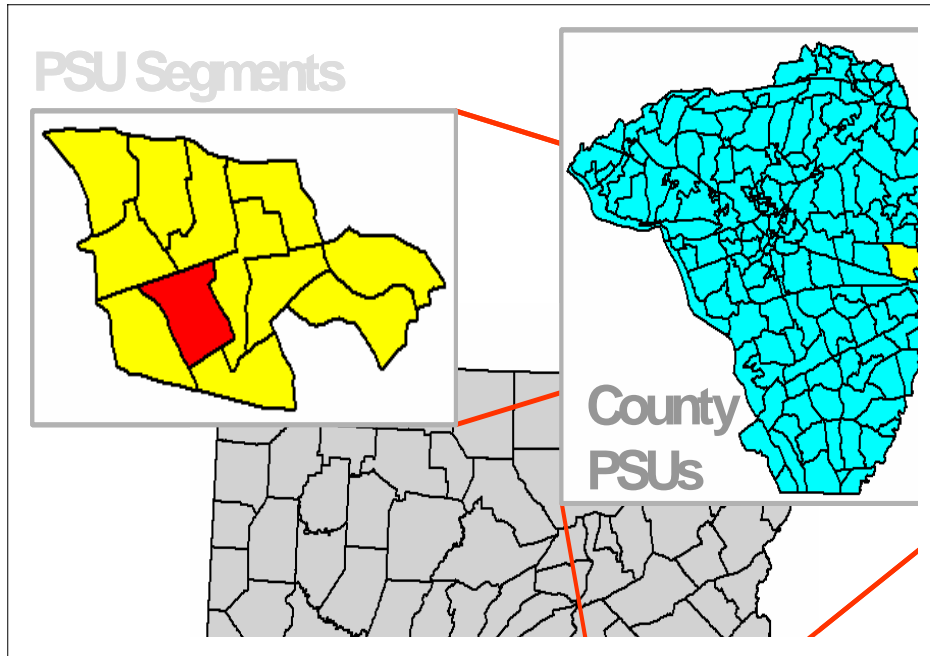
- NASS는 미 전역에 걸쳐 매년 JAS에서 area sampling frame에 의해 추출된 약 11,000여개의 무작위 추출된 지역을 조사하고 있다. Area frame 구축과 샘플추출 과정은 각 주(州)별로 토지 이용 현황에 따라 증화하는 작업으로 시작하여 현장조사자가 항공사진을 들고 현장을 방문하여 실측조사를 시행함으로써 마무리 되게 된다.
- NASS는 알래스카를 제외한 각 주 및 푸에르토리코지역에 대하여 Area frame을 구축하고 있으며 최신정보를 반영하기 위하여 매년 2개 주가 새로운 프레임을 구축하게 된다.
- NASS의 Area frame을 이용한 응용범위는 다음과 같다.
 - 주요작물들에 대한 재배면적추정.
 - 각 작목별 면적은 단위구안의 각 필지에 따라 기록됨. 이 재배 면적들을 토대로 각 주별 혹은 국가단위의 각 작목별 재배면적을 추정하는데 이용함.
 - 다목적 프레임추정을 통한 센서스 및 현장조사를 통한 농가목록 (리스트 프레임)에 대한 불완전성을 측정함.
 - 단위구안의 각 필지에서 농업을 경영하고 있는 모든 인구들의 이름을 기록함으로써 기존의 NASS 통계상에 기록되어 있는 내용과 비교작업을 하게 됨. 만약 어떤 이름도 NASS 리스트에 나타나 있지 않다면, Not On the List 로 처리함. 이 NOL 농가들

- 을 이용하여 리스트의 불완전성을 추정함.
- 원격탐사기술을 통한 재배면적 추정의 현장 확인작업.
 - NASS는 단위구내 각 필지들의 작목 데이터를 현장 실제 데이터로 이용함. 위성영상의 작목별 분광반사값과 현장 방문 조사결과를 비교함으로써 위성영상에서 각 작목이 어떻게 나타나는지를 확인함. 이러한 과정을 통하여 샘플지역 이외의 지역도 위성영상 판독을 통하여 측정하게 됨.
- 수확량예측과 같은 후속조사에의 이용
 - 옥수수, 콩과 같은 특정 작목이 재배되는 대지들은 작물수확량의 객관적 결정을 위한 후속조사들을 위한 부표본(subsample)으로 이용됨.
- 본 장에서는 사례지역으로 펜실베니아주의 랜체스터를 예로 들어 미국의 토지이용/경지면적 측정에 필요한 단위구 편성 및 샘플 추출과정을 살펴보고 원격탐사기술의 적용 범위를 살펴본다.

(2) Area Frame의 구축 과정

- 본 장에서 예로 들어 사용될 펜실베니아주는 총 5,943개의 필지로 Area frame이 구성되어 있다. 각 필지들은 주로 6~8제곱마일(약 1500ha)정도 크기로 이루어져 있으며 PSU(Primary Sampling Units)로 불리게 된다. PSU들은 다시 1제곱마일(2.6km², 약 256ha)의 단위구(segment)들로 구성되어 있다.

<그림 6> 펜실베이니아주 PSU, 단위구(segment)

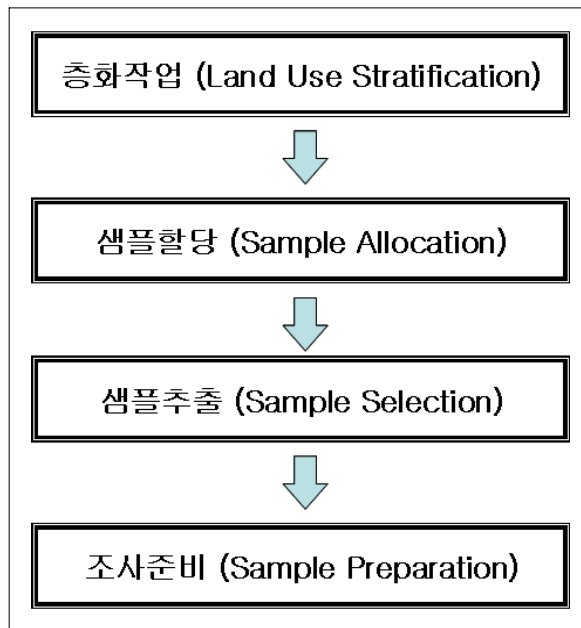


* 자료 : Guide to the Sample Survey and Census Programs of NASS, USDA, 2005.

- Area frame을 이용하면 농가 경영자, 농촌거주자, 작물별 재배면적 등 필지에 나타나는 대부분의 농업통계들에 대한 샘플추출에 다양하게 적용할 수 있다. 또한 토지면적의 변화는 비교적 빈번하게 발생하지 않기 때문에 면적의 변화로 인해 프레임이 outdate되는 일은 거의 없기 때문에 한 번의 구축으로 오랜 기간 사용할 수 있는 장점이 있다.
- 하지만 Area Frame은 구축에 큰 비용이 발생한다. 1개주의 새로운 프레임을 구축하는 데는 보통 5명의 인원이 풀타임으로 4달을 투자하여야 하며 현장 데이터 수집 작업은 면대면(face-to-face)조사를 통하여 이루어지므로 데이터 수집 비용 또한 매우 높게 발생한다.

- 또한 담배 및 과일과 같은 특용작물들의 분포를 반영한 샘플추출이 어렵다. 농가에서 재배 빈도가 20%이하로 나타나는 작목들에 대한 추정치라든가 축산농가와 같이 규모가 매우 다양하게 나타나는 경우는 sampling error가 발생하기 쉬워 area frame이 그 기능을 잘 하지 못하게 되는 경우도 있다. Area frame의 전반적인 구축과정을 도식화 하면 다음<그림 7>과 같다.

<그림 7> Area Frame 구축단계

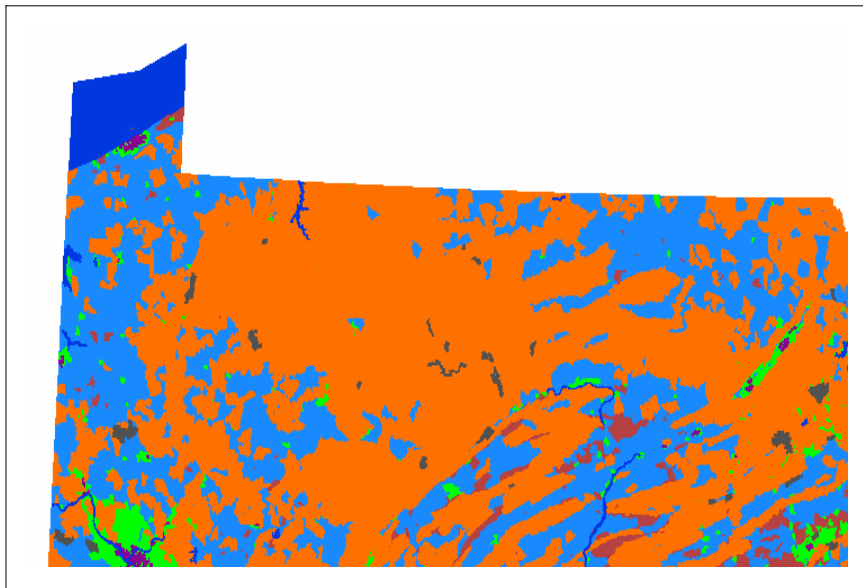


① 층화작업

- 다음<그림 8>은 펜실베니아주의 토지 층화현황을 보여주고 있다.

진한 붉은색, 밝은 푸른색과 오렌지색으로 나타난 지역은 농업용지를 나타내고 있으며, 보라색과 녹색은 도심지역, 회색은 비농업지역 그리고 어두운 푸른색은 물을 나타내고 있다.

<그림 8> 펜실베니아 증화지도



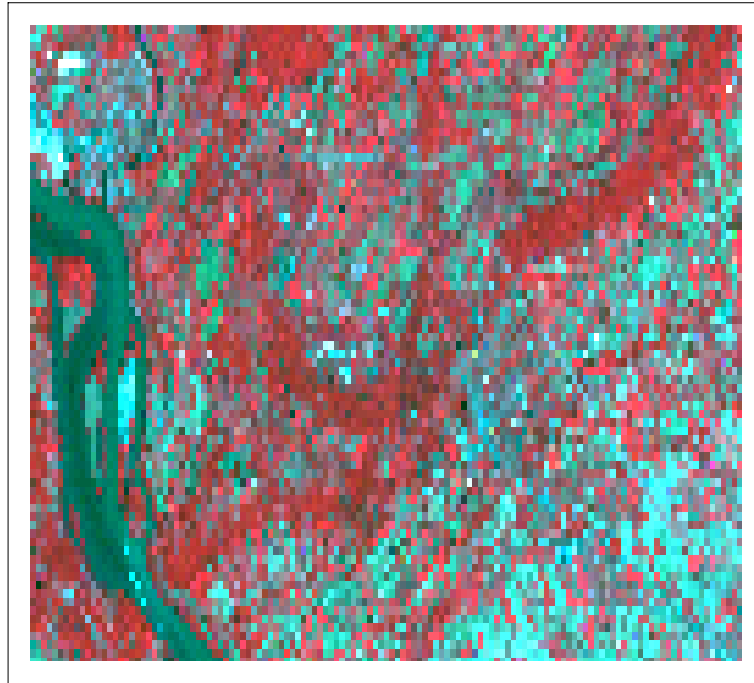
* 자료 : Guide to the Sample Survey and Census Programs of NASS, USDA, 2005.

- 새로운 area frame을 구축할 때만 증화작업을 실시하고 있으며 이 작업은 각 주(州)단위로 이루어지고 있다. 매년 2~3개의 주가 새로운 area frame을 구축하고 있으며 각 주들의 구축된 area frame은 평균적으로 15~20년 정도 이용이 되고 있다.
- Area frame을 새로 구축할 주는 아래의 기준들을 고려하여 결정하게 된다.
 - 현재의 프레임이 얼마나 잘 기능을 하고 있는가?

- 단위구는 각 층 정의와 일치하는가?
- 프레임이 구축된 후 경지이용 현황이 얼마나 바뀌었는가?
- 프레임이 구축된 지 얼마나 되었는가?
- 국가 통계 측정 프로그램에 있어서 area frame이 얼마나 중요한가?
- 국가 통계 측정 프로그램에 대하여 주요작물 순위와 예측치들에 근거한 각 주의 상대적 중요도는 어떠한가?
- 추정치에서 농가, 농경지, 주요작물 목록에 의해 설명되지 못하는 부분은 어느 정도인가?
- 프레임구축 자료가 얼마나 최신인가?
- 최신의 사진 및 인공위성 영상을 가지고 있는가? 프레임은 한 번 구축되면 15~20년이 사용되어지기 때문에 구축에 이용되는 자료들은 최신이어야 함.
- 최신의 저장매체를 가지고 있는가? 백업자료가 문서의 형식인가 아니면 디지털화 되어 있는가, 디지털화 되어 있다면 최신의 소프트웨어로 쉽게 읽을 수 있는 형태인가?
- 마지막 기준은 새로운 프레임이 전체 통계추정 프로그램에 끼칠 수 있는 잠재적 영향임. 국가 및 지방의 통계치 산정에 끼칠 잠재적 영향력을 고려하여 농업집약적인 주요 주(州)들에 대하여는 동일 년도에 동일 작목에 대하여 프레임을 동시에 재구축하지 않음.
- 프레임을 재구축할 주를 선정한 후, 다음단계는 토지 이용목적에 따라 층화그룹을 결정하는 작업을 수행하게 된다. 각 주의 특성에 따라 다소 차이는 있지만 일반적으로 통용되는 층은 다음과 같다.
 - 경지(cultivated)

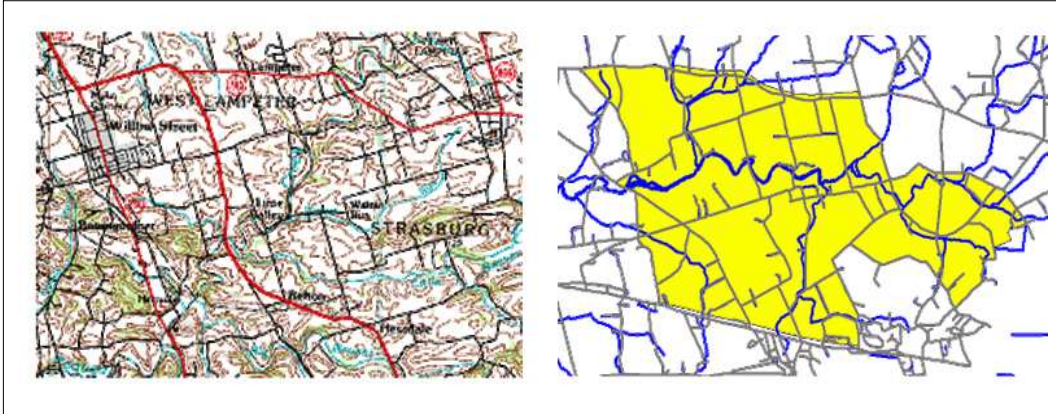
- 근교농업(agri-urban)(제공마일당 100가구 이상, 그리고 15%이하의 경작지)
 - 도심지(intensive urban)(도심, 0%의 경작지)
 - 비경지(non-agricultural(국립·주립공원, 군부대 등))
 - 수역(water)
- 펜실베니아주에서는 경지를 다음의 3가지 종류의 층으로 구분하여 층화하고 있다.
 - 집중경지(intensive cultivation)(50%이상의 경작지)
 - 중간경지(moderate and extensive cultivation)(15~50%의 경작지)
 - 저비율경지(low intensity cultivation)(15%이하의 경작지)
 - 경지이용층을 구분하기 위하여 각 층들은 위성영상과 지도에서 육안으로의 구분이 명확해 질 수 있는 물리적인 경계에 따라 분류될 수 있어야한다. Area frame은 매년 개정 될 수 없기 때문에 비교적 영구적인 경계선이 이용되어야 한다.
 - 층화작업에는 다양한 데이터와 자료를 이용하는데 경작지역을 결정하는 주요정보의 원천으로 Landsat-5,7호의 중해상도의 위성영상을 이용한다(그림 9).

<그림 9> 증화작업을 위한 Landsat image



- 또한 위성영상을 보정하고 지리적 정보를 탐지하기 위하여 디지털로 스캔된 1:100,000의 USGS 지형도 이미지를 이용한다. PSU의 설정시 도로와 같은 영구적인 경계를 그리는데 이용되는 USGS 디지털 라인 그래프 혹은 Census TIGER 데이터와 같은 벡터형식의 지형도도 이용된다(그림 10).

<그림 10> 디지털 래스터(좌)지형도와 벡터(우)지형도



- 또한 위성영상 판독자료를 이용하여 경작지역을 추정할 때 그 값을 검증하는 자료로 시/군단위의 최신 농업통계를 이용한다(그림 11).

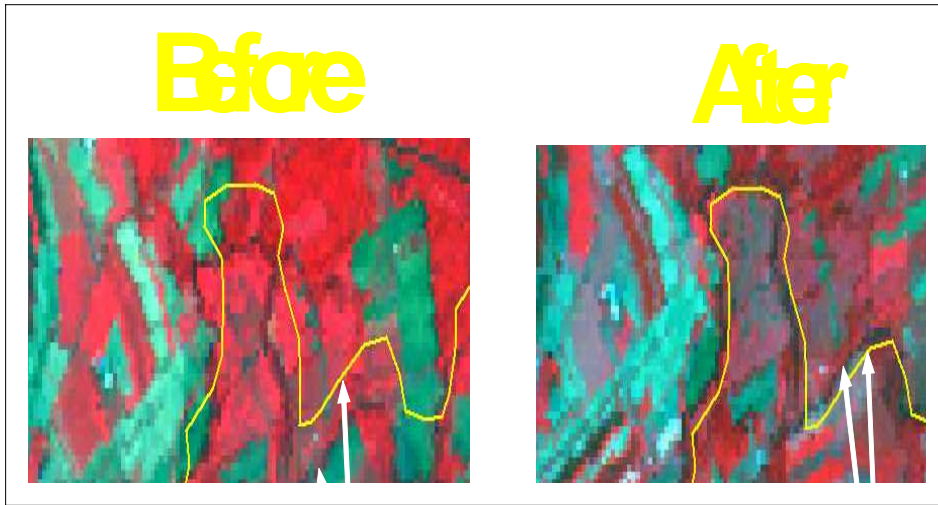
<그림 11> 주 및 군단위의 농업통계

	545 - Wheat	67 - Corn for grain	70 - Corn for silage	787 - Harv Crop	88 - Soyb
	Weighted Total	Weighted Total	Weighted Total	Weighted Total	Weighted

- Area frame 구축의 가장 첫 번째 단계인 토지층화는 다음의 단계들로 진행된다.

- 첫째, 인터넷, 정부 및 민간 기구들로부터 기초자료들을 수집 및 다운로드하여 자료를 준비하는 작업을 수행한다. 둘째, 필요지역을 추출함으로써 다루기 쉬운 크기로 데이터 파일을 줄이거나 다수의 이미지들을 함께 결합(mosaic)처리 하는 등의 데이터들을 정렬한다.
- 셋째, 이미지나 지도를 동일한 지리적 좌표를 갖도록 재 투영하는 작업으로서 모든 지리 데이터들이 동일한 프로젝션을 사용하지는 않기 때문에 동일한 reference를 이용하여 통일하는 작업을 한다.
- 네 번째, 이미지를 동일 시스템에 등록을 하여 위도 경도 및 좌표값을 부여하고 이미지를 다른 data source에 맞게 보정(rectification)을 한다. 보정절차는 데이터를 정렬하기 위한 기하 보정(geometric transformation) 방법을 통하여 1개의 grid system의 픽셀데이터를 다른 grid system으로 변환하게 되며 이 작업을 통하여 지도나 이미지가 가지는 형태의 왜곡을 줄이게 된다.

<그림 12> 영상 보정



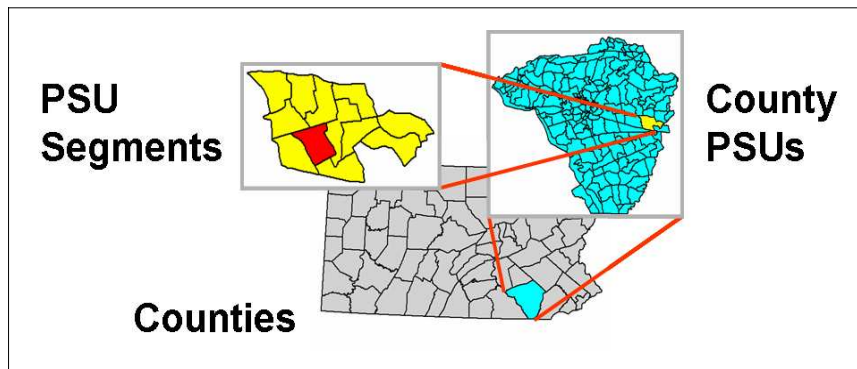
- 마지막 작업으로, 경작지 및 비농업지역이 보다 쉽게 식별되게 하기 위하여 이미지의 색깔과 대비를 강조하는 화상강조/방사보정 작업을 수행한다(그림 13).

<그림 13> 화상강조



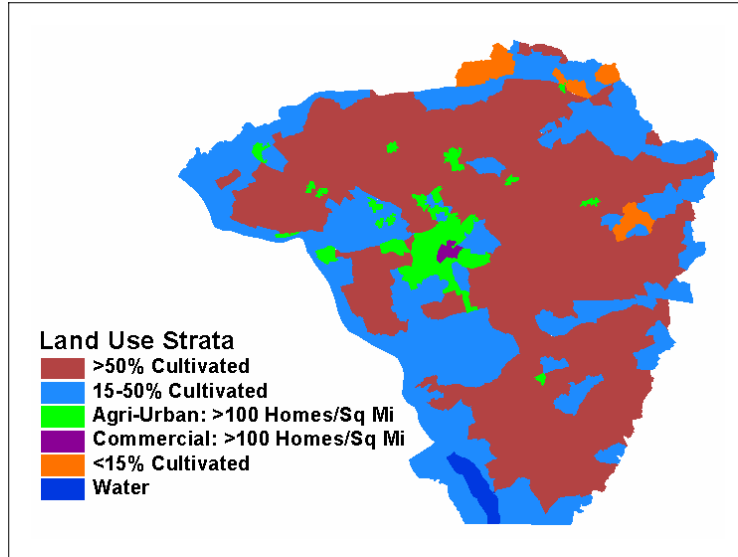
- 전반적인 작업은 Arcview 및 Erdas imagine과 같은 상용 소프트웨어들을 이용하여 처리한다.

<그림 14> Area frame 구조



- 층화는 한 번에 한 개의 군(county) 단위로 시행되는데 층화작업 과정의 예로 펜실베니아주 내의 랜체스터군(county)의 경우를 보면(FIPS code 071) 먼저 가능한한 행정경계와 일치하도록 물리적 경계선을 따라 군 경계의 윤곽을 잡는다.
- 이후 위성영상, 디지털 벡터 데이터, 디지털 레스터 지도, 층화단위들을 이용하여 데이터를 분석하고 경작비율을 결정할 이미지 분석을 수행하게 된다.

<그림 15> 토지이용층화



- 위 <그림 15>는 펜실베이니아주의 랜체스터지역의 토지이용 층에 대한 그림을 보여주고 있다. 범례를 통하여 알 수 있듯이 랜체스터지역의 50%이상의 땅이 진붉은색으로 나타남으로써 경지로 이용되고 있음을 알 수 있다.
- 영상 판독작업을 통한 토지이용에 따른 층화가 완료되고 나면 각 층별 단위구의 크기를 구체적으로 결정하게 된다. 단위구의 크기를 결정할 때는 다음과 같은 요소들이 고려된다.
 - 샘플추출과정에서 나타나는 변이의 최소화.
 - 원하는 계층의 단위구내 및 단위구간의 분산이 낮아야함. 즉, 각 단위구내의 토지이용 상황이 해당 층을 대표할 수 있어야 함.
 - 데이터수집비용의 제약 고려
 - 단위구들간의 거리 및 시간소요 등의 특성들을 고려할 때 100개

의 단위구내의 각 4명의 농업인을 방문하는 것이 400개의 단위구내의 각 1명의 농업인을 방문하는 것보다 더 비용이 효율적임.

- 명확히 식별가능한 물리적 단위구 경계의 설정.
 - 조사자들은 사진을 통하여 단위구의 경계를 쉽게 찾아 볼 수 있어야 함. 도로나 교량과 같은 객체들은 현장에서 조사자들이 단위구의 경계를 파악하는데 용이한 경계선을 제공함. 명확한 경계구역의 설정이 어려울 때는 단위구의 넓이가 더 넓어 질 수도 있음.
- 이상과 같은 조건하에서 조사자들이 하루 안에 해당 단위구에서 데이터들을 수집 할 수 있는 크기로 결정하게 된다. 현장조사자들은 단위구당 7~10명의 응답자들을 방문조사하며, 이 중 3~4명은 보통 농업인들이다.
- 각 주별로 층화에 대한 구분이 다양하기 때문에 단위구의 크기도 다양하게 나타난다. 집중경지(intensive cultivation statum)의 경우 어떤 주는 1/2 제곱마일 정도로 작게 단위구를 편성하는 반면 텍사스의 경우 저비율경지(low intensity cultivation stratum)의 경우 한 단위구를 8제곱마일로 크게 나눈다.
- 토지이용현황이 분류된 위성영상을 바탕으로 전 지역의 필지를 디지털 지도위에 그리는 작업을 수행하게 된다. 이때는 개별 단위구를 그려 넣는 것이 아니라 노동절약 및 샘플 추출의 편의를 위한 차원에서 PSU를 그려넣게 된다.

- 펜실베이니아주의 경우 41,373개의 단위구를 그려 넣는 대신에, 5,943개의 PSU를 그리게 된다. 표본으로 이용될 PSU는 이 후에 단위구로 나누어지기 위하여 랜덤으로 선택되게 된다.
- 펜실베이니아주의 층화 설명서 및 PSU 허용 범위에 대한 가이드 표가 다음 <그림 16>에 나타나 있다. 그림을 살펴보면 각 계층의 정의-층 번호, 층 정의, 단위구 크기, PSU의 최대 최소 사이즈, 또한 한 PSU 내에서 요구되는 단위구의 숫자에 대한 정보를 볼 수 있다. 각 층의 성격은 군 내 뿐만 아니라 주 전체에 걸쳐 가능한 한 동질적으로 설정된다.

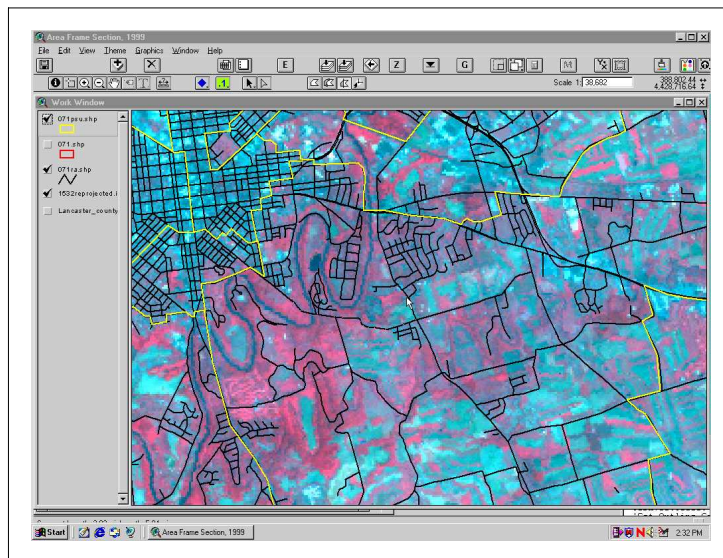
<그림 16> 층화작업 설명서 및 PSU 가이드

STRATA SPECIFICATIONS		
Stratum	Definition	Segment Size
13	> 50% Cultivated	1.00
20	15-50% Cultivated	1.00
31	Agri-Urban:>100 Homes per Square Mile	0.25
32	Commercial:>100 Homes per Sq. Mile	0.10
40	<15% Cultivated	2.00
50	Non-Agricultural	pps

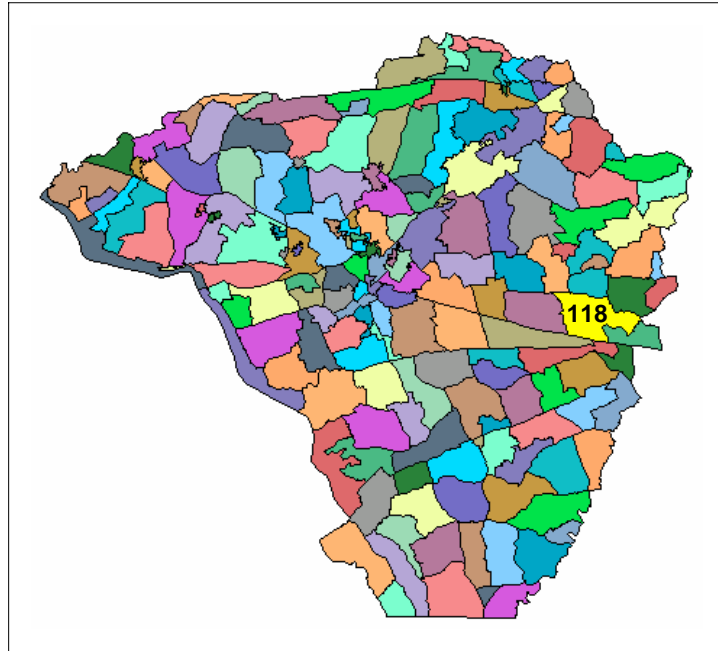
PRIMARY SAMPLING UNIT TOLERANCE GUIDE				
Stratum	Description	Minimum	Desired	Maximum
13	> 50% Cultivated	1.00	6 - 8	12
20	15-50% Cultivated	1.00	6 - 8	12
31	Agri-Urban:>100 Homes per Sq. Mile	0.25	1 - 2	3
32	Commercial:>100 Homes per Sq. Mi.	0.10	0.5 - 1	1
40	<15% Cultivated	2.00	12 - 16	24
50	Non-Agricultural	1.00	20	50

- PSU 편성의 디지털 작업을 위해 공간데이터베이스에 PSU 폴리곤과 일치하도록 벡터기록 작업을 수행한다. 아래 <그림 17>에 보면 디지털 벡터로 된 도로(검은선), 수로(파란색), PSU경계(노란색)선 중첩된 위성영상 사진이 나타나 있다. 사진을 보면 PSU 경계는 목표 PSU 크기를 맞추면서도 가장 유용한 물리적 공간객체(도로, 수로)들을 따르고 있음을 볼 수 있다.
- PSU들의 경계가 구체화되고 나면 PSU 폴리곤(polygon)에 각 PSU의 해당 층 및 번호 등과 같은 속성값들이 기록된다.

<그림 17> 디지털화 작업



<그림 18> 랜체스터군의 PSU편성현황



- 전체 군(county)지역이 층화되고 PSU로 분류된 후에 모든 군의 층화작업이 소속 주(州)에 걸쳐 일관되게 이루어 졌는지, PSU 사이에 오버랩이나 갭(gap)이 없는지, PSU의 크기는 적절한지 그리고 군 도표가 완성되었는지에 대한 검토가 이루어진다.
- Area frame 층화 작업에 대한 검토작업이 완료된 후 주전체의 area frame file을 구축하기 위하여 전체 군지역 파일들을 병합하게 된다. 병합 후 PSU Edit 소프트웨어를 이용하여 PSU목록을 생산한다. PSU edit는 ArcGIS와 Arcview, 그리고 SAS 통계 패키지 등과 연동하여 샘플추출프로그램의 입력 자료들을 생산한다.

- 다음 <그림 19>는 PSU Edit 프로그램에 의해 작성된 펜실베이니아 주의 주(州) PSU목록이다. 각 수치는 주(州) FIPS 코드, 농업 통계 구역 번호, 층화 번호, 군(county) FIPS 코드, PSU 번호, 지역, 그리고 PSU 면적에 대한 정보를 보여준다.

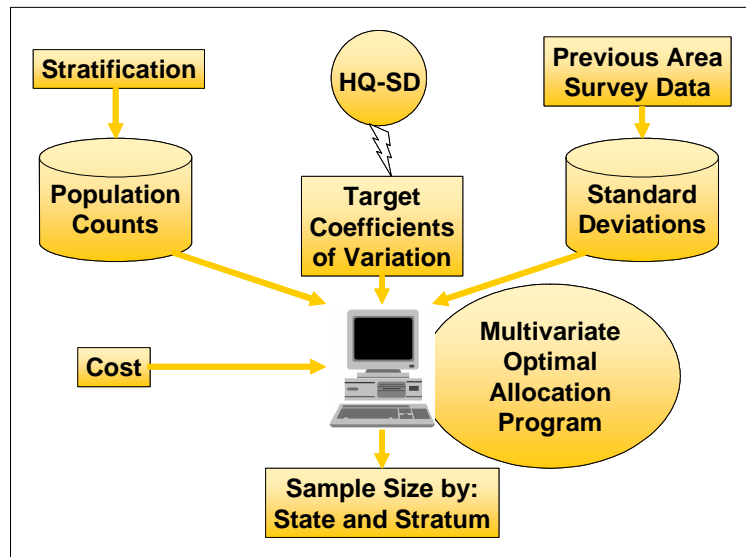
<그림 19> 샘플 추출

St. FIPS	ASD No.	Stratum	Co. FIPS	PSU No.	Area (Sq. Mi. x 1000)	PSU Ac.
4290	13	71		114	7607	4869
4290	20	71		115	3323	2127
4290	31	71		116	1806	1156
4290	13	71		117	9110	5831
4290	13	71		118	11511	7367
4290	13	71		119	8948	5727
4290	13	71		120	10463	6696
4290	20	71		121	2449	1567
4290	31	71		122	1506	964
4290	31	71		123	2209	1414
4290	13	71		124	10006	6404

② 샘플 할당

- 토지의 층화작업이 끝났다면 Area Frame 구축의 두 번째 주요 단계는 샘플할당(sample allocation)작업이다. 샘플할당작업은 일단 현장조사 될 PSU별 단위구(segment)의 숫자를 결정하는 작업이다. 이 작업은 미국 주요 작목 및 필수 요소들을 사용하는 ‘국립다목적변수할당(national multi-variate allocation)’에 기반하여 실시된다. 샘플할당작업에 투입자료로 사용되는 요소들은 다음 <그림 20>과 같다.

<그림 20> 샘플할당



- 먼저 리스트된 각 목록들에 대한 국가 단위에서(national level) 요구되는 수준의 목표통계값들이 기준으로 투입되며 각 층별 단위구들의 분포값, 해당 주의 전체 PSU의 개수, 혹은 모집단 숫자

와 데이터 수집비용 등도 고려되어 최적 할당 값들을 산출하게 된다. 2000년에 전 국토의 1%정도에 해당하는 10,815개의 단위가 샘플로 할당되었다. 이러한 작은 비율의 샘플을 이용하여서도 약 1%의 변동계수(coefficient of variation)내에서 주요 작물에 대한 전체 면적을 추정할 수 있었다.

③ 샘플추출

- 이제 샘플의 할당이 완료되면 단위가(segment)로 세분화시킬 PSU를 선택하고 선택된 PSU를 PSU를 편성할 때와 동일한 조건 하에서 단위가 경계선들을 편성한 후 편성된 단위가들 중 현장조사에 이용될 샘플 단위를 무작위로 추출하게 된다.

<그림 21> 샘플선택결과

PENNSYLVANIA SELECTED SAMPLE					
OBS	COUNTY	CONAME	SEG	STRATUM	
1	115	SUSQUEHANNA	0001	13	
2	119	UNION	0002	13	
3	71	LANCASTER	0003	13	
4	95	NORTHAMPTON	0004	13	
5	49	ERIE	0005	13	
SEG	COUNTY	AREA_SQM	ACRES	PSU	TOTNSU
0001	115	9.781	6260	78	10
0002	119	11.558	7397	29	12
0003	71	11.511	7367	118	12
0004	95	5.762	3688	27	6
0005	49	5.406	3460	6	5

- 위 <그림 21>은 SAS 통계 패키지를 이용하여 샘플 추출을 한 결과값의 예시이다. 위 목록에 보면 군과 특정 층에 대한 단위구의 정보가 나타나 있다. 아래 목록에는 단위구 번호, 군 FIPS 코드, 제곱마일과 에이커로 표기된 PSU 면적, PSU 번호, 또한 PSU를 나눌 단위구의 수와 같은 좀 더 세부적인 정보들이 나열되어 있다.
- 샘플추출을 담당하는 지도제작자는 이 정보들을 PSU를 세부 단위구로 구분하는데 이용하게 됨. 예를 들면, 아래 목록은 샘플 추출자에게 0003번 단위구는 118번 PSU안에 있으며 그 PSU는 11.5제곱마일이란 것을 말해준다. 목표단위구의 크기는 1제곱마일 이므로 담당자는 118번 PSU를 12개의 단위구로 나누게 된다. 샘플추출 팀은 경지이용율에 근거한 층화작업으로 군을 PSU로 나눈 area frame 파일을 이용하여 작업을 수행한다.

<그림 22> PSU118 DOQQ

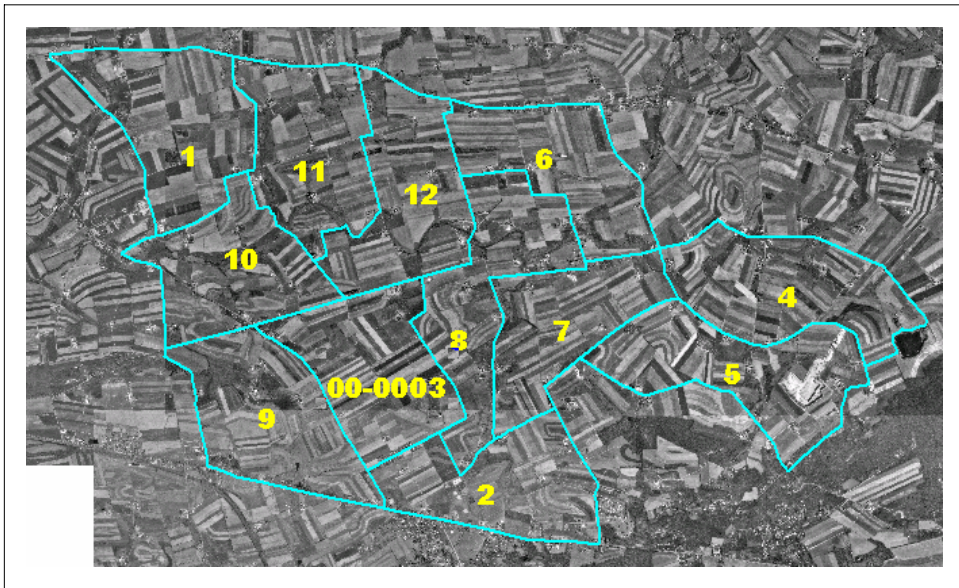


- 샘플선택팀은 ‘샘플 선택 STAT sheet’에 할당된 양에 따라 특정 단위구로 나누고 이를 벡터형식으로 디지털화 한다. 단위구 경계를 만들기 위해 샘플선택은 층화작업과 비슷한 자료들을 이용하며 배경 레이어 high resolution Digital Orthophoto Quarter Quadrangles 혹은 DOQQ(그림 21)¹¹⁾, PSU 118번에 해당하는 도로(회색선) 및 지류(파란색선) 지형 디지털 벡터 데이터, PSU 118번에 해당하는 디지털 레스터 지형도, 중간해상도의 위성영상 등이 이용된다.
- 단위구 편성시 한 단위구는 토지이용에 현황에 대하여 동질적 성격을 가지고 있어야 한다. 즉 각 단위구는 동일 비율의 경작지를 가지고 있어야 한다. 또한 단위구들의 크기는 최대한 같아야 한

11) DOQQ(1 meter Digital Orthoimagery Quarter Quadrangles)는 지도 제작 및 지상관측을 위하여 촬영되는 공간해상도 1m의 항공사진임.

다. 랜체스터의 118번 PSU의 경우, 모든 단위구들은 3/4~1과1/4
 제곱마일의 사이에 있다. 단위구들은 1제곱마일인 목표단위구 크
 기내에서 양질의 경계선을 취하기 위해 범위내에서 그 크기를 조
 금씩 변동할 수 있다.

<그림 23> PSU118번의 작업파일 및 단위구 편성



- PSU가 단위구로 세분화 되고 나면 무작위 추출 소프트웨어를 이
 용하여 현장조사될 단위구를 선택한다. <그림 23>을 보면 0003번
 의 단위구가 선택되었음을 보여주고 있다. DOQQ, 디지털벡터·
 레스터 지도와 위성영상들은 촬영 및 제작 날짜가 각기 다르기
 때문에 단위구의 경계선들이 정확히 매치 되지 않는다. 따라서
 STAT sheet에 타 지도 제작원에게 정보를 남기는 메모를 첨부
 하기도 한다.

<그림 24> 펜실베이니아주 렌체스터군의 STAT sheet

pa071 Lancaster										
zone18										
June										
YR_IN	FIPS	STR	PSU	SEG	MILES	NSU	COUNTY	WORK	REVIEW	
2000	71	20	40	0089	7.211	7	LANCASTER	wjr	JL	
2000	71	13	65	0011	8.386	8	LANCASTER	wjr	JL	
2000	71	13	82	0015	7.929	8	LANCASTER	wjr	JL	
2000	71	13	118	0003	11.511	12	LANCASTER	wjr	JL	
118										
00-0003: Boundaries are mainly roads with one stream and one pt to pt.										
DOQQ's used: DQT_PA_23 40075a84										
DQPA_071_1 04007664se ***selected segment										
03907608ne										
040										
00-0089: PSU goes into Berks co.										
Boundaries are roads and one pt to pt between segments #7 and #6.										
DOQQ's used: DQPA_071_1 0407656se										
0407549sw***selected segment										
DQT_PA_024 40075b83										

- 이 파일들은 특정 군에 있어서 PSU에 대한 다양한 관련정보와 문제점, 이용된 자료 등에 대한 기록에 대한 위치를 제공한다. 위 <그림 24>에서는 단위구 경계는 주로 도로를 따르지만 일부의 경우 지류(수로)가 사용되었으며 다른 경우는 횡단(point-to-point) 기법이 사용되었음을 말해 주고 있다.
- PSU 편성시와 마찬가지로 각 단위구의 경계선들이 최적화 되었는지, 각 단위구의 크기는 각 층별 평균 단위구 면적내에 있는지, 그리고 단위구들간의 동질성은 각 층의 정의를 잘 반영하는지 여부에 근거하여 단위구 편성작업을 검토한다.

④ 조사준비

- 현장조사될 단위구까지 추출되고 나면 조사원들이 현장에서 사용하게 될 24" by 24"확대사진을 주문하게 된다. 사진을 수령하게 되면 해당주의 주통계국(State Statistical Office)에 발송하기 위한 표기작업을 한다.
- SSO로 발송되기 전 디지털 카메라로 백업촬영을 하는데 이 작업은 혹시 모를 배송사고를 대비하기 위한 백업자료로 보관되며 TIFF파일로 각 지역 SSO로 사진과 함께 보내어 진다. SSO는 배송을 받고 나면 6월 농업 조사(JAS : June Agriculture survey)를 수행하기 위한 준비작업에 들어간다.
- JAS조사는 면대면으로 이루어지며 조사원들이 농가들에게 현재 조사하고 있는 부분에 대하여 확대사진을 보여주면서 설명을 하게 된다. 만일 응답자로부터 정보를 얻을 수 없을 경우, 조사원은 목적조사를 실시하고 이를 표시해 둠으로써 비표본오차를 줄이게 된다.
- 현장조사가 끝난 후 SSO는 문제가 있는 단위구들의 사진을 첨부하여 NASS의 Area frame section에 발송하게 되는데 SSO는 현장에 대한 더 많은 정보를 가지고 있기 때문에 해결방안 등에 대한 정보를 함께 첨부하여 보낸다. 예를 들어, 단위구내에 너무 많은 농가별 필지가 있는 경우는 어디에서 단위구가 좀 더 세분화 되어야 하는지에 대한 표식을 하며, 경계선이 불충한 경우에는 SSO는 좀 더

양질의 경계선을 잡아서 보낸다. 면적이 틀린 경우에는 정확한 면적을 추계하도록 재 디지털화 작업을 하도록 요청한다.

- NASS에서 문제단위구들에 대한 재편성이 이루어지고 나면, 모든 자료들이 업데이트 된다. 업데이트 된 자료들은 다음 현장조사를 위하여 각 SSO로 다시 보내어진다.

다. 위성영상판독결과를 이용한 작물재배면적 추정

- 1970년대 초부터 시작하여 NASS는 area sampling frame을 이용하여 수집된 현장조사 자료를 토대로 작물재배 면적추정치의 정확성을 획기적으로 제고하기 위한 방안의 일환으로 Landsat 위성영상을 이용하는 응용통계프로세스를 개발하여왔다.
- 원격탐사기술을 이용한 작물재배면적 추정과정에서 현재 개발되어 응용되고 있는 프로세스는 크게 두 단계로 구분되는데 첫째, 가우시안 다변량 군집분석/분류법(Gaussian multivariate clustering and classification)을 이용한 영상판독과 두 번째, Direct expansion 혹은 회귀식을 이용한 방법 등을 통한 면적추정 알고리즘이다.
- Landsat 위성영상은 7개의 분광밴드를 통하여 지상의 물체로부터 반사되는 다중분광 에너지를 측정한다. 1개의 픽셀에 담긴 하나의 관측값(7개 정보의 집합)은 지상의 각 0.25에이커(약 300평)의

정보를 담고 있다. 이러한 에너지 값들의 정보는 지상의 훈련지역(training area)의 현장정보를 이용하여 패턴 분석기법(군집/분류)등에 의해 해석된다.

- ISODATA¹²⁾ 알고리즘을 이용하여 각 작물별로 다중 다변량 분포 값들(신호나 class)의 특징을 추출해 낸 후, 각 픽셀들을 2차판별함수식(quadratic discriminant function)에 따라 분류(labeling)한다.
- 각 작물의 형태별로 분류 및 군집화가 완료되고 나면, 분석구역에 대하여 현장조사 데이터만 이용하여 재배면적을 추정하는 direct expansion 추정법과 위성영상판독값과 현장데이터를 모두 이용하는 회귀 추정법이 각각 연산되고 두 값의 분산비를 통해 상대효율(relative efficiency)의 결과를 비교한다.
- 회귀추정법은 일반적으로 direct expansion에 비하여 3~4배의 상당히 의미 있는 상대효율을 보여준다. 상대효율이 3~4배라는 것은 현장조사 데이터만 이용하여 회귀추정 분산값과 동일한 값을 산출하기 위해서는 샘플의 크기를 3~4배 증가시켜야 한다는 것을 의미한다.

12) ISODATA(Iterative Self-Organizing Data Analysis Techniques Algorithm) : N으로 지정된 임의의 군집수의 평균들을 가상하여 반복되는 과정이 시작된다. 다시 말하면 반복계산마다 각 군집에는 새로운 평균이 계산되어 그 평균의 변화가 임계치 T 이내로 들어 올 때에 분류과정이 끝난다. 초기 지정된 군집 중심을 기준으로, 각 화소를 가장 거리가 가까운 군집에 지정하고 각 군집의 평균을 새로이 계산하면, 실제 중심에 조금씩 수렴하게 된다. 반복계산은 임계치 T나 반복계산내의 최대 수행횟수 M에 의해 실행이 중지된다.

- 이러한 샘플크기의 증가는 비용상의 문제, 짧은 조사기간, 농가의 부담 등의 이유로 인해 실현이 거의 불가능하다. 최종적으로 생성된 추정치들은 CDLP로 취합되고 이는 정부 및 민간의 전 영역에 걸쳐 다양한 GIS 활용자료로 이용되고 있다.
- 위성영상을 이용한 면적추정을 위하여 NASS는 관심지역(주로 1개 주, 혹은 주의 주요 일부지역)을 ‘분석구역(analysis district)’으로 구분한다. 분석구역이란 분리도분석(separate analysis)에 의하여 분석될 연구 지역으로 정의해 볼 수 있다.
- 분석구역들은 동일날짜에 촬영된 위성영상의 유무로 구분 지어지는데 일반적으로 다른 날짜에 촬영된 영상들을 결합하여 하나의 분석을 시행하는 경우는 다른 시기에 촬영된 영상들 간의 분광반사 특성의 차이로 인하여 분류결과가 적합하지 못하게 나오는 경우가 많기 때문이다.
- 분석구역은 sub-counties들의 총합으로 구축되는데 sub-counties라 함은 선택된 한 장의 영상에 온전히 포함되어 있는 county(군)지역의 특정 부분을 의미한다. 이 정의에 따라 sub-county는 주로 온전한 1개의 군(county)이 모두 포함되는 경우도 있다¹³⁾. 주 단위 면적추정은 분석구역들의 추정값들을 총합하여 추산한다.

13) Landsat 영상 한 장의 범위가 185km×185km 이기 때문에 1개의 온전한 군이 한 장의 영상내에 포함되는 경우가 많음.

- 통계적 기법들을 응용한 재배면적 추정은 NASS의 자체개발 소프트웨어인 PEDITOR를 이용하여 수행한다. 아래의 각 추정 공식들에 나오는 기호들은 분석구역내의 특정 작물의 재배 면적을 가정하였으며 작물의 면적을 표시하는 하첨자들과 분석구역은 표기의 간편화를 위해 생략되었다.

(1) 현장데이터만 고려한 면적추정(Direct Expansion)

- 위성영상을 배재하고 현장조사자료만으로 면적을 추정하는 경우인 NASS의 direct expansion estimator은 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{Y}_{\Sigma N}^h$$

$M = h$ 계층의 단위구(segment)의 개수

$\bar{y}_h = h$ 층의 관심작물의 단위구당 조사된 평균면적

- 즉, 단순히 현장조사된 단위구 내의 특정 작물의 평균면적을 동일 계층내의 단위구의 개수에 맞추어 곱하여 주는 것으로 해당층 내의 특정 작물의 면적을 추정한다. direct estimation 추정식의 분산은 다음과 같이 구해진다.

$$var(Y)_h = \sum \frac{N_h s_h^2}{nh} (1 - f_h)$$

여기서 : n_h = h 층의 샘플에 있는 단위구의 수

$$f_h = \frac{n_h}{N}$$

$$s_h^2 = \frac{\sum_h h (y_{jh} - \bar{y}_h)^2}{n_h - 1}$$

(2) 위성영상 데이터를 이용한 면적추정(regression estimator)

- 현장조사된 단위구 내의 작물 재배면적 결과를 그대로 전체 면적으로 확장하는 direct expansion estimator와 달리 현장조사결과 값에 추가하여 위성영상 판독을 통한 작물의 재배면적 추정값을 보조변수로 사용한 회귀추정식은 다음과 같이 정의된다.

$$\hat{y}_h = \bar{y}_h + b_h (X_h - \bar{X}_h)$$

N_h = h 층 내의 단위구의 수

n_h = h 층 단위구안의 해당 작물로 분류된 픽셀의 개수와 단위구내의 해당작물의 재배면적에 대한 회귀식의 기울기

\bar{y}_h = h 층 안의 해당 작물로 분류된 단위구의 픽셀의 모집단 평균값

\bar{X}_h = h 층 안의 해당 작물로 분류된 훈련지역 단위구내의 픽셀의 샘플의

평균값

- Von Steen과 Wigton에 의해 개발된 이 추정식은 특정 작물로 분류된 픽셀의 수로 나타난 원격탐사 데이터를 보조변수로 이용하고 있다. $(\bar{X} - \bar{Y})$ 는 모집단 전체에서 특정 작물로 분류된 픽셀의 평균값과 표본으로 선택된(training area) 단위구 내에서 특정 작물로 분류된 픽셀의 평균값 사이의 차이를 의미하며 b 는 픽셀 값을 면적으로 환산해 주기 때문에, $b(\bar{X} - \bar{Y})$ 는 모집단 단위구와 샘플단위구 사이에서 특정 작물로 분류된 면적 차이의 평균값을 의미한다.
- b 는 각 단위구내의 영상판독 결과값과 현장데이터 검증 작업을 통한 두 변수간의 회귀식의 기울기이다. 이 공식을 통해 분석구역내의 특정작물의 총 면적값을 추정하기 위해 전체 단위구의 개수만큼 곱하여 주기 전에 샘플단위구의 면적의 샘플 평균값을 조정할 수 있다.
- 특정 계층이 수용 가능한 최소오차를 가진 분산값을 추정되기 위해서는 10개 이상의 관측값(observations)을 가져야 하며 (Chhikara & McKeon, 1984) 특정 계층의 회귀추정식의 분산을 추정하기 위한 공식은 다음과 같다.

$$var(y_h) = \frac{N}{nh} (1-f) \left[\sum_{i \in H} (y_i - \bar{y}_h)^2 \right] (1-R) \left[1 + \frac{1}{nh-3} \right]$$

여기서 : $R = \frac{(\sum_{i \in H} y_i - nh \bar{y}_h)^2}{(\sum_{i \in H} y_i - nh \bar{y}_h)}$

$$S_{y_h} = \frac{\sum_{i \in H} (x_i - \bar{x}_h)(y_i - \bar{y}_h)}{(nh-1)} = \frac{\sum_{i \in H} (x_i - \bar{x}_h)(y_i - \bar{y}_h)}{(nh-1)}$$

$$S_h = \frac{\sum_{i \in H} (y_i - \bar{y}_h)^2}{(nh-1)} = \frac{\sum_{i \in H} (y_i - \bar{y}_h)^2}{(nh-1)}$$

$$S_h = \frac{\sum_{i \in H} (x_i - \bar{x}_h)^2}{(nh-1)} = \frac{\sum_{i \in H} (x_i - \bar{x}_h)^2}{(nh-1)}$$

H 는 특정 작물에 대한 h 층의 단위구들의 집합

- 이것은 Cochran(1953)의 연구에서 단위구들이 동일크기가 아님을 설명하기 위해 제시된 근사조정값, $\left[1 + \frac{1}{nh-3} \right]$ 과 함께 kendall, M(1975)가 제시한 분산 추정식과 상응하는 것이다. ^R 값이 1로 접근해가기 때문에 분산값은 0으로 접근해 가며 분류된 픽셀수와 해당 면적값 사이에 강한 선형관계가 있는 층의 경우 direct expansion estimator에 비해 정확성에서 획기적인 향상이 있음을 시사하고 있다. 여기에서 'Var'는 분산을 지칭하며, 'var'은 분산 추정값을 의미한다.

(3) 단순조정픽셀수추정(Simple Adjusted Pixel Count Estimator)

- 때로는 분석구역내의 특정 층에 있는 관심지역의 단위구 개수가 너무 작기 때문에 회귀추정식은 적합하지 않으면서도 해당구역의 위성영상의 분류작업은 매우 높은 수준(good quality)으로 분석될 수 있는 경우가 있다. 이러한 경우에 NASS는 회귀추정식을 사용하지 않고 단순히 영상내에서 해당 작물로 분류된 픽셀 수를 계산하는 방법으로 추정치를 구하기도 한다.
- 이러한 방법을 단순조정픽셀수추정(SAPCE : simple adjusted pixel estimator)이라고 한다. SAPCE는 다음과 같이 정의된다.

X^{hk} = 분석지역 i 내의 sub-county k 에서 h 계층의 특정 작물로
분류된 픽셀의 개수

X = 분석지역 i 내의 전 계층 및 sub-county를 걸쳐 특정 작물로
분류된 모든 픽셀의 개수

λ = 변환인자(1개 픽셀 당 면적단위)

m^{lt} = 현장조사결과 분석구역 ' i '에서 ' l '로 판명났지만 위성영상에선
' t '로 분류된 픽셀의 모든 개수. 이 수치는 분석구역내의 세부
sub-county나 계층이 아닌 전 단위구에 걸쳐 합계됨

$m^{p \cdot}$ = 현장에서 ' p (연구 작물)'로 분류된 모든 샘플 픽셀수(marginal
total)

$m.p$ = 영상관독을 통하여 ‘ p ’로 분류된 모든 샘플 픽셀수(marginal total)임

- 그렇다면 분석구역 ‘ i ’내의, 계층 ‘ h ’, sub-county ‘ k ’, 특정작물 ‘ p ’에 대한 SAPCE의 도출은 다음과 같이 추산된다.

$$S_{h k} = \frac{m.p}{m.p} X_{h k}$$

- 즉, 분석지역 i 내의 sub-county k 에서 h 계층의 특정 작물의 면적을 추산함에 있어서 영상관독값에 현장조사와 영상관독의 일치비율을 곱하여주고 공간해상도를 곱하여 면적값으로 산출되도록 조정해주는 방법이다. 전체 분석구역 ‘ i ’ 내의 SAPCE추정량은 다음과 같다.

$$S_i = \sum_{hk \in ADi} S_{hk}$$

- 즉, 식(8)을 통해 추산된 특정계층 및 측정 sub-strata별 값들의 총합으로 계산된다. 전체 ‘ c 군(county)’에 대한 SAPCE 추정량은 다음과 같다.

$$S(c) = \sum_{ihk \in county c} S_{hk}$$

- 즉, ‘ c 군(county)내의 모든 층과 sub-strata의 값들이 모두 총합된

다. Shk 의 분산값을 구하기 위하여 잭나이프(jackknife approach)법¹⁴⁾이 이용한다. 이 방법론은 한 개의 단위구가 빠지고 새로운 데이터 셋을 근거로 하여 $\frac{\hat{m}_{p \cdot}}{\hat{m} \cdot p}$ 의 비율이 다시 연산된다.

- 두 장이상의 위성영상을 연결(mosaic)하는 경우 영상의 바깥쪽 부분끼리 다소 중첩(overlap)되기 때문에, 단위구는 1개 이상의 영상에 포함되는 경우도 있다. 하지만 분석구역을 편성할 때, 각 단위구는 하나의 분석구역에만 속하도록 된다. 하지만 하나의 영상에 있는 모든 단위구들은 소속 분석구역에 관계없이, 기준정보(signature)를 추출하는데 이용된다.
- ‘ i ’를 영상분류를 위하여 기준정보(signature)를 만드는데 사용된 샘플 단위구의 개수라고 정의한다면 i 는 영상들간의 중첩(overlap)부분에 놓여진 샘플단위구들을 포함한다.

$\hat{m}_{p \cdot}(s) =$ 분석구역 ‘ i ’로부터 단위구 ‘ s ’를 삭제한 후 재 연산된 $\hat{m}_{p \cdot}$

$\hat{m} \cdot p(s) =$ 분석구역 ‘ i ’로부터 단위구 ‘ s ’를 삭제한 후 재 연산된 $\hat{m} \cdot p$

$$K_s = \frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m} \cdot p(s)}, \text{ 단, } s \text{ 는 삭제된 단위구.}$$

14) 표본을 모집단으로 간주하고 반복하여 같은 크기의 부표본(subsample)을 수 없이 재추출하는 방법으로 통계량 또는 추정량을 계산하는 재표집방법으로서 Bootstrap, 임의순열 검증(Random Permutation Test), cross-validation 등의 유사 방법론 등이 있다.

$\frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m}_{\cdot p}(s)}$ 의 분산은 다음과 같이 주어진다.

$$var\left(\frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m}_{\cdot p}(s)}\right) = \frac{(\hat{m}_{\cdot p}(s))^{-1}}{\hat{m}_{\cdot p}(s)} \sum_s (K_s - \frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m}_{\cdot p}(s)})^2$$

- 그렇다면 분석구역 'i' 내의, 계층^{'h'}, sub-county^{'k'}, 특정작물에 대한 분산의 추정값은 다음과 같다.

$$var(S_{h k}^i) = var\left(\frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m}_{\cdot p}(s)}\right) \cdot [\sum_{h k} X_{h k}^i]^2$$

- 그리고 S^{'i'} 에 대한 추정된 분산값, 분석구역 'i' 에 대한 픽셀 추정치는 다음과 같이 주어진다.

$$var(S_{\cdot \cdot}^i) = var\left(\frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m}_{\cdot p}(s)}\right) \left\{ \sum_{h k} \in A D_i X_{h k}^i \right\}^2$$

- 군(county)전체에 대한 추정값에 대한 분산 'S(c)'는 다음과 같다.

$$var(S_{\cdot \cdot}(c)) = \sum_i var\left(\frac{\hat{m}_{p \cdot}(s)}{\hat{m}_{\cdot p}(s)}\right) \left\{ \sum_{h k} \in C o u n t y ' c ' X_{h k}^i \right\}^2$$

- 이러한 분산계산법은 분석구역의 어떠한 부분들이 총합되더라도 일정한 변동계수(CV : coefficient of variation)를 유지할 수 있게 하여준다. 분석구역내에서 어떤 sub-county의 CV도 항상 잦나이

프화 된 변수의 CV와 동일하게 나타난다.

$$cv(S_i) = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_{ij} - \bar{S}_i)^2}}{\bar{S}_i} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_{ij} - \bar{S}_i)^2}}{\bar{S}_i} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (S_{ij} - \bar{S}_i)^2}}{\bar{S}_i}$$

라. 미국사례의 요약 및 시사점

- 1970년이래로 미국은 농업통계생산부분에 원격탐사기술을 적극 도입하여 왔다. 수십년간의 실험과 연구를 통하여 현재는 주요 농업생산주(state)들의 대부분이 원격탐사를 이용한 작물별 재배 면적을 추정하고 있으며 이렇게 추정된 정보들은 GIS형태의 인터페이스로 만들어져 민간에 공급되고 있다.
- 재배면적 통계생산을 위한 미국의 원격탐사기술 이용부분은 크게 두가지로 볼 수 있다. 먼저 미국의 토지이용 및 재배면적 통계를 위한 area sampling frame을 구축하는 데 사용되는 것이다. 위성영상의 분류알고리즘을 이용해 농업의 집중화 정도의 기준으로 전체 토지를 층화한 후 이를 바탕으로 PSU와 단위구를 편성하여 층별로 적절한 샘플이 추출되도록 이용하는 것이다.
- 두 번째는 위성영상의 분류작업을 통해 작물의 재배면적을 추정하고 이를 현장조사결과와 연계함으로써 정확성에 있어 획기적인 향상을 가져오도록 하는 것이다. 이를 위하여 다양한 통계적 기법들

이 개발되었으며 현재 전용 소프트웨어에 탑재되어 사용되고 있다.

- 미국의 원격탐사기술 응용 사례에서 찾아 볼 수 있는 시사점들을 정리해 보면 다음과 같다. 첫째, Area sampling frame 구축시 1차적으로 영상분류를 통하여 토지피복도를 증화하여 이에 맞추어 단위구를 편성하는 것은 항공사진 및 현장조사만을 이용하여 육안으로 수행하는 작업에 비해 정확도의 향상을 가져올 뿐만 아니라 작업도 훨씬 용이하게 이루어 질 수 있다.
- 둘째, NASS는 내부적으로 PEDITOR 소프트웨어를 개발하여 왔다. 이 소프트웨어 내에는 위성영상의 처리기능부터 면적통계 생산을 위한 다양한 알고리즘까지 내재되어 있어 자동적으로 현장조사 데이터와 연계된 면적 추정값을 생산할 수 있도록 되어 있다.
- 셋째로 작물의 재배면적 통계를 위해 연구지역의 영상상태 혹은 현장상황의 여러 조건에 따라 다양한 통계적 기법들이 연구되어 왔으며 이러한 통계적 추정과정에서 발생하는 모든 영상처리결과와 계량적 통계값들이 CDLP에 의해 시각적인 자료로 민간에 배포되어 농업인, 농업관련기관 및 대학과 연구소에서 다양하게 이용되고 있다.

2. EU의 농업통계분야 항공우주기술 응용

가. 면적통계 분야 관련 RS기술의 응용 연구현황

- 유럽에 있어서 농업부분에 원격탐사 기술을 응용하기 위한 연구는 소위 MARS(Monitoring Agriculture through Remote Sensing techniques) 프로젝트로부터 시작되었다.
- MARS 프로젝트는 유럽집행위원회(Commission of the European Communities)에서 유럽전역에 대한 공동농업정책(CAP)를 수립하기 위한 신속하고 정확한 농업통계 및 관측에 대한 정보를 수집할 수 있는 기술을 확보하는 것을 목표로 진행되었다.
- MARS 프로젝트는 1988~1998년 동안 1, 2차로 걸쳐 유럽위원회(European Commission) 산하의 Joint Research Center를 중심으로 진행되었다. MARS 프로젝트는 경지면적으로부터 시작하여 수확량예측시스템의 개발까지 다양한 부문의 원격탐사기술 응용 가능성을 연구해 왔으며 면적통계 관련부문으로는 다음 <표3>의 Action1(Activity A)와 Action4(Activity B)가 있다.
- MARS 프로젝트의 2단계 기간(1994~1998)에 Activity A로 개명된 'Action 1 지역별 작물재배면적조사(Regional Crop Inventory)'는 전통적인 기법의 area sampling frame에 기반한 현장조사 결

과와 고해상도 위성영상을 결합하여 보다 정확한 통계량을 추정하는 기법을 개발하는 연구였다. 위성영상은 토지를 층화하는데 매우 유용한 자료로 이용되었다.

- 이후에 Activity B로 명명된 'Action 4 작물재배면적 변화의 조기 측정(Rapid Area Change Estimates in the EU)'는 관측구역들에 대하여 고해상도 위성영상을 통해 나타나는 유럽전체 수준에서의 작물재배면적의 변화를 탐지하는 것이다. 좋은 예측결과의 관건은 분석팀의 분석능력과 다양한 출처의 참조자료들을 어떻게 활용하는가에 달려 있었다.

<표 3> MARS project의 연구 내용

운영 내용	MARS project, first phase, 1988-1993	MARS project, second phase, 1994-1998	MARS project, operational phase
지역별 작물재배면적조사	Action 1	Activity A	-
작물 성장 조건 및 수확량 예측	Action 2	Activity C	MARS-STAT/ MARS-FOOD
수확량 예측 모델	Action 3	Activity C	MARS-STAT/ MARS-FOOD
작물재배면적 변화의 조기 측정	Action 4	Activity B	-
최신 농업 정보 시스템	Action 5	Activity C	MARS-STAT/ MARS-CAP
현장조사관련 토지구획 샘플링	Action 6	Support Activity	MARS-STAT/ MARS-CAP
장기 연구 활동	Action 7	Activity E	MARS-CAP/ MARD-FOOD/ MARS-CAP
해외농산물 생산동향	-	Activity D	MARS_FOOD/ MARS-STAT

- Activity A는 전통적인 작물재배면적조사에 어떻게 하면 원격탐사기술을 응용하여 정확성과 적시성을 갖출 수 있을가에 대한 연구이다. 위성영상을 재배 작물 및 토지이용목적에 따라 증화한

후 농경지에 대하여 특정 작물의 재배면적을 추정하는데 응용하며 이는 미국에서 활용하고 있는 것과 매우 유사한 형태를 갖추고 있다. 이용영상은 Landsat-TM을 주로 이용하고 작물재배 필지가 복잡하거나 Landsat 영상의 획득이 곤란한 지역에 대하여서는 SPOT 영상을 이용하고 있다.

- Activity B의 경우는 미국에서 이용하고 있는 현행 RS응용 부문과 다소 다르다. Activity B는 유럽의 공동농업정책(CAP : Common Agricultural Policy)에 중요한 정보를 제공하여 주기 위하여 유럽의 전반적이고 포괄적인 작물재배면적의 변화를 탐지하는 것을 목적으로 하고 있다.
- 이를 위하여 유럽전역에 걸쳐 40km×40km로 이루어진 60개의 정방형 현장관측지역(분석구역)을 선정한 후 해당지역에 대한 지속적인 관측을 통하여 유럽전체 수준의 작물생산 기반의 변화를 모니터링하고 있다. 이용영상은 한 장이 분석구역을 충분히 커버할 수 있으면서 충분한 해상도를 제공해 주는 SPOT 영상을 주로 이용하고 부수적으로 Landsat-TM, IRS-1C등의 영상도 이용한다.

<표 4> MARS 프로젝트 Activity A & B의 비교

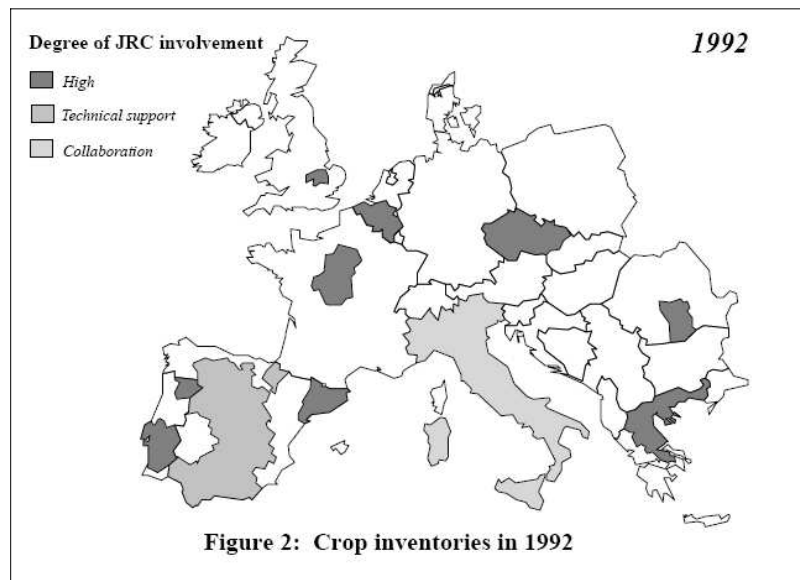
	지역별 작물재배면적조사 (Activity A)	작물재배면적 변화 조기측정 (Activity B)
사용자	· 국가/지방정부의 담당자	· 유럽위원회(DG VI)
추정변수	· 현행년도 작물재배면적	· 연내 작물재배면적의 변화량
연구 성격	· 전통적인 통계절차 : 층화된 샘플, 추정변수(현장조사), 보조 변수(영상판독결과)	· 복합적 전문가시스템
필요 기간	· 6월말 현장 추정치 · 8월(겨울-봄 작목)/10월(여름작목)에 대한 회귀추정치	· 4월 이후 월간 예측치
표본	· 표본단위구	· 현장의 분석구역 · 각 분석구역내의 표본단위구
영상	· Landsat-TM(main), SPOT XS(sub)	· SPOT XS(main) Landsat-TM,IRS(sub), Radar(tested)
주요점	· 표본추출 · 영상판독의 정확도	· 분석팀의 숙련도
RS기술의 기여도	· 층화작업은 비용효율적이나 회귀분석작업은 그렇지 못함	· 정량적 평가는 어려움

(1) RS를 응용한 작물재배면적 측정연구(Activity A)

- MARS 프로젝트에 있어서 지역별 작물재배면적 측정 사업은 표본단위구 조사의 단계와 고해상도 위성영상을 이용한 결과의 점검 및 개선 등의 단계로 구성되어 있다. 단위구의 크기는 통상적으로 25ha에서 200ha까지 필지의 특성에 따라 다양하게 결정된다. 조사원들은 현장 조사를 위해 항공사진 위에 단위구의 위치를 표기하고 필지 이용목적과 상태를 기입한다.
- 일반적으로 농업 조사는 농가 목록들 중에서 무작위 추출법을 이용하여 이루어진다. 우리나라를 비롯한 대부분의 나라는 매 10년마다 새로운 프레임을 구축하고 주기적으로 보완하는 시스템을 이용하고 있다. 이로 인해 조사를 수행하는 시점과 표본프레임 사이에는 많은 오차가 있게 된다. 특히 빠른 경제 발달로 토지 소유주나 경관이 빠른 속도로 바뀌게 되는 경우에는 이러한 오차가 더욱 커지게 된다.
- 위성영상을 이용한 area frame의 구축은 농가단위가 아니라 지리적 특성을 기반으로 한 훌륭한 기법이다(FAO 1996, FAO 1998). 미국의 사례에서도 볼 수 있었듯이 영상을 이용하여 현장의 물리적 경계선을 기반으로 구축하는 area frame이 좋은 예이다. 하지만 필지의 모양이 복잡하거나 그 규모가 상대적으로 작은 경우에는 이러한 방법을 이용하는데 많은 시간과 비용이 들게 된다.

- 정방형 격자구조로 이루어진 area frame(Gallego, 1995)의 구축법은 상대적으로 쉽고 저렴하게 이루어 질 수 있다. 층화된 불규칙한 폴리곤들을 정방형으로 결합함으로써 인해 이론적 결점에도 불구하고 현장필지들의 물리적 경계선의 확보는 area frame의 구축에 충분하다. 정방형 단위구에 기반 한 area frame과 기존과 같이 물리적 경계선에 기반 한 area frame의 경우 비슷한 추정정확도를 보여준다.

<그림 25> MARS프로젝트 Activity 1 시범지역



*참고 : F.J.Gallego, 'Crop Area Estimation In The Mars Project'

① Area frame 관측 모드 : 단위구 추출 및 점추출

- Area frame sampling은 다른 두 가지 타입의 형태로 이루어질 수 있다. 점 추출법(point sampling)과 필지설명을 이용한 단위구

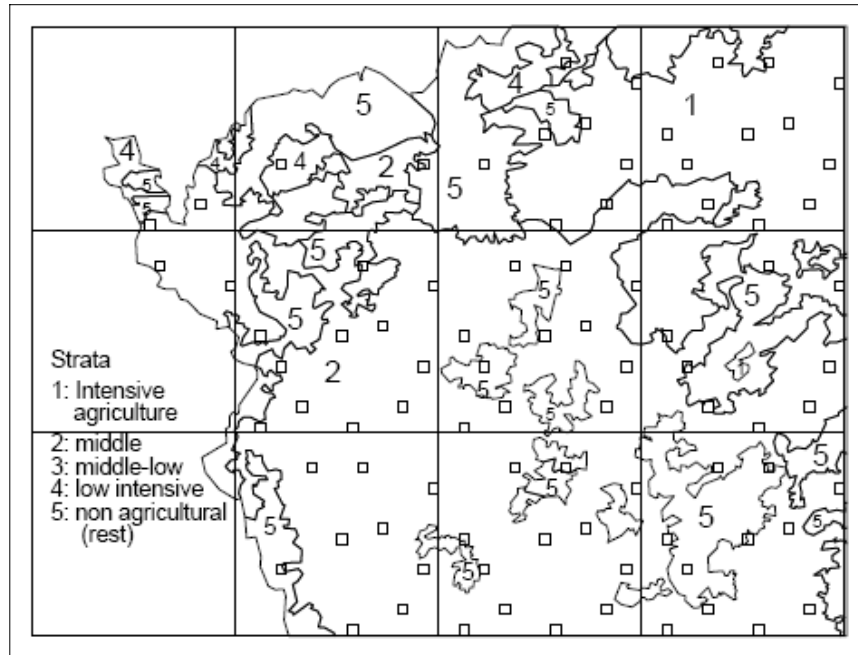
추출법(segment sampling)이다. 둘은 꽤 비슷하지만 다음과 같은 장점들이 있다.

- 단위구 추출법은 현장조사자료와 원격탐사에 의한 자료를 결합하고 현장조사를 관리감독하는 데 더 유용하게 이용될 수 있다. 또한 공간객체의 특징과 위치에 대한 오차에 대하여도 민감하게 반응할 수 있다.
- 단위구 내의 점을 이용한 점추출은 비용효율적이며 데이터를 이용하는데 더 적은 인프라를 요구하며 '선형객체(linear element)'에서 오는 오차를 피할 수 있다.

② 층화

- 위성영상은 표본추출작업이전에 토지를 층화하는데 이용이 된다. 각 층은 농업의 집중도와 주산지의 분포에 따라 5~10개의 층으로 분리된다. 다음 그림은 Landsat-TM 영상을 이용하여 층화한 후 단위구 추출을 한 체코지역의 예이다.

<그림 26> 체코지역 토지층화 및 표본단위구



*참고 : F.J.Gallego, 'Crop Area Estimation In The Mars Project

- 그림을 보면 체코지역의 층은 농업의 집중정도에 따라 5개의 층으로 나뉘어져 있으며 각 지역에 보이는 정방형 격자는 표본단위구이다. 표본단위구는 각 층에서 다른 추출비율로 정방형 격자단위구들 중에서 반복 추출한다.
- 다음 <표 5>를 보면 MARS 프로젝트 1차 시범연구기간에 수행된 시범지역의 층화효율(stratification efficiency)의 중앙값(median)이 나타나 있다. 밀의 경우 1.49로 나타나 있는데 이는 1,000개의 층화된 샘플로부터 1,490개의 무작위 추출을 통한 표본의 정확성과 동일한 예측값을 줄 수 있다는 것을 의미한다. 값들은 크게 유의하지 않게 보일 수 있으나 연간 현장조사비용보다

낮은 비용으로 층화할 수 있으며 10년을 주기로 하는 총조사보다는 훨씬 자주 층화작업을 실시할 수 있기 때문에 RS기술을 이용한 작업은 충분한 가치가 있음을 알 수 있다.

<표 5> MARS 프로젝트 1차시기의 층화상대효율 중앙값

작물	층화효율(stratification efficiency)
밀	1.49
보리	1.54
옥수수	1.23
Oil seeds	1.12
Dried pulse	1.16

③ Area frame과 표본농가추출

- Area frame은 표본 농가들을 나타내는데도 이용할 수 있다. 단위구들로부터 표본 농가를 추출하는 데는 보통 open segment, closed segment, weighted segment의 세 가지의 방법이 있다. 이러한 방법론은 유럽의 실정에는 효율적이지 못하다.
- 왜냐하면 이러한 방법론은 농가에 연결되어 있는 전 단위구들을 모두 선택하게 되기 때문이다. 특히 가장 효율적인 것으로 알려져 있는 weighted segment법은 소위 tract으로 불리는 단위구내의 농지의 일부분을 필요로 하고 이는 정방형의 단위구가 이용될 때에는 매우 어렵게 된다.

- MARS 프로젝트는 단위구당 표본농가의 수를 줄여주는 subsampling 기법을 개발하였다. 이 기법은 tract지역의 계산을 필요로 하지 않는다(Gallego et al, 1994). 표본추출단계에서 농지의 개념이 현장조사자들이 농가를 인터뷰할 때의 농지개념과 다소 다를지라도 이 방법론은 효율적임이 증명되었다.

④ RS를 이용한 보정

- Landsat-TM과 SPOT-XS와 같은 영상은 영상판독작업을 통해 현장조사결과로 획득된 정보를 보완하는 자료로 이용될 수 있다. 원격탐사 초기에는 작물별 분광반사특성에 기초한 방법을 이용하여 영상을 분류하였다. 이러한 방법은 빠른 시일 내에 과학기술의 발전으로 인해 전 작물을 수용가능한 오차범위 내에서 원격탐사를 이용하여 구분할 수 있을 것으로 기대되었었다.
- 하지만 오늘날도 이러한 목표달성에 많은 한계를 가지고 있다. 현장지역이 너무 복잡한 구조를 가지고 있지 않은 경우는 일반적으로 70~80%의 분류정확도를 보여준다.
- 회귀계수를 이용하는 방법은 전 모집단에 걸쳐 관측된 보조변수가 존재할 때 표본 예측치의 정확성을 향상시켜 줄 수 있는 전통적 기술이다. 이 방법은 MARS 프로젝트에서 영상판독값을 보조변수로 이용하여 광범위하게 응용되었다. 혼합매트릭스에 의거한 대안적 방

법도 회귀추정치와 값들에 매우 근접한 결과값들을 보여주었다.

- 하지만 정사보정 된 항공사진이 아니라 일반 항공사진이 현장조사자들에 의해 이용될 때는 영상판독결과와 위치정확도의 문제가 생기게 되며 이럴 경우에는 보통 50%내외로 정확도가 떨어지게 된다. 이러한 경우에는 픽셀수에 근거한 면적 추정방법이 이용되게 된다.
- RS에 대한 경제성은 추정분산값들의 비(ratio)에 근거한 상대효율을 검토하여 판단할 수 있다. 다음 <표 6>은 MARS 프로젝트 2차 시범사업 기간 동안의 상대효율의 비의 중앙값들을 보여준다.

<표 6> 상대효율의 중앙값

	유럽 1988-92	헝가리 1995
밀	2.11	5.55
보리	2.04	n.a
옥수수	1.68	4.06
Oil seeds	1.80	n.a
Droed pulses	1.77	n.a

- 앞서 살펴본 증화효율과 같이 효율이 2라는 말은 RS를 이용하여 1,000개의 표본으로 추정된 예측값은 RS기술 없이 2,000개의 표본을 이용해야 획득할 수 있다는 것을 의미한다.

⑤ RS 이용의 경제성

- 상대효율이 증화효율보다 훨씬 높게 나타난다 하더라도 경제적인 측면을 고려할 때 RS이용 증화작업은 회의적으로 나타난다. RS 이용의 경제성을 분석한 논문이 다수 있지만 비용구조를 어떻게 설정하는가에 따라서 매우 상이한 결과들을 보여주고 있다.
- USDA(Allen, 1990)의 연구에 따르면 RS를 이용한 예측값들의 수정은 아직 경제성이 부족하지만 관련기술의 축적과 전용소프트웨어의 개발을 위해 매년 2~3개 주가 시범사업을 지속하고 있을 뿐이다.

<표 7> 1998년 추정 경제성을 고려한 상대효율 임계치

	프랑스	바이에른	에틸리아 로마냐	마케도니아	카스티야
Spot-XS	1.71	1.54		2.00	1.71
Landsat-TM	1.42	1.35	1.37	1.86	1.42

- RS기술 도입이 경제성을 확보하기 위해서는 많은 비용이 수반되는 부문인 영상구입부문과 영상처리기술의 기술향상 등에 따른 비용감소 등이 동시적으로 해결되어야 한다.

⑥ 작물재배면적조사 방법론의 발전

- 1993년 이래로 관련 연구활동은 JRC내에서 대폭 축소되었다. 제약된 연구활동 내에서 연중 목표변수가 추정 되었을 때 이를 달성하는 단위구의 최적 크기결정에 관한 연구들이 이루어졌다. 이 연구에 따르면 6×6km와 50ha 내에서 9개에서 16개의 단위구를 보유한 두 단계의 샘플링프레임은 국가별, 작물별로 역관계 (trade-off)가 있음을 증명해 주었다.
- 후속연구로 CORINE Land Cover 시스템을 이용해 정방형 단위구의 샘플링프레임을 구축하여 층화의 기본으로 이용하는데 발생하는 애로점과 잠재적 상대효율을 밝히기 위한 연구들이 수행되었다. 결과는 CORINE Land Cover 시스템은 층화의 기본으로 사용할 수 있는 좋은 자료임을 입증하였다(표 8).

<표 8> CORINE 기반 정방형 단위구 층화의 효율성

	효율성
밀	2.21
보리	1.51
잡곡	2.18
해바라기	1.74
사탕무	1.74
휴경지	1.18

(2) 작물재배면적 변화 조기측정

- MARS 프로젝트의 'Activity B' 혹은 'Action 4'로 불리는 '작물 재배면적변화의 조기측정(rapid estimation of crop area changes in the EU)은 전년도에 대비해 변화된 작물재배면적의 정보를 조기에 제공하는 것을 목적으로 한다. 또한 잠재적 수확량에 대한 정성적인 예측값을 제공하여준다.
- t기에 대한 예측 면적은 t-1기의 공식 통계값에 변화율을 적용함으로써 구해진다. 이 방법론의 full scale 운영은 1992년에 시작되었으며 밀, 옥수수, 보리 등의 주요 작물에 대하여 실시되었다.

① 현장지역과 이미지 획득

- 유럽전역을 커버하는 고해상도 영상을 주기적으로 획득하는 것은 매우 어렵기 때문에 40km×40km 크기의 총 60개의 현장지점이 선택되었다. 이 연구는 SPOT 위성의 off-nadir(측면촬영)기능을 이용하였으며 면적의 크기는 SPOT 위성의 수직촬영 범위에 맞추어 결정되었다. 보완자료로 더욱 폭넓은 촬영범위를 갖고 있는 Landsat-TM과 IRS-1C의 영상 또한 이용된다.

<그림 27> 60개의 현장관측지역의 분포



*참고 : F.J.Gallego, 'Crop Area Estimation In The Mars Project

- 각 현장지역들의 주요 목표는 주요작물들의 성장시기에 맞추어 4개의 고해상도 영상을 획득하는 것이 관건이다. 농업이 집중되지 않은 지역의 경우는 작물 성장시기의 한시기의 영상만으로도 관측이 가능하다. SPOT image 社와 EURIMAGE의 영상협조체제는 영상구입과 처리비용을 대폭 절감할 수 있게 해 주었다.

② 영상처리

- 영상들은 주로 영상처리 소프트웨어들에 의하여 무감독분류의 알고리즘에 의해 판독되었다. 1995년까지 대부분의 픽셀들은 토지 피복정보와 같은 '겨울곡물', '여름작물' 등과 같이 라벨링 되고 8%정도의 픽셀들만 '해바라기 혹은 휴경지'등과 같은 방식으로

라벨링 되었으나 1996년에는 퍼지분류법과 유사한 방식으로 모두 교체되었다. 각 픽셀의 군집들은 하나나 몇 개의 토지피복 그룹으로 연계되었다.

③ 예측값 계산

- 실제 예측에 있어서 현장조사는 실시하지 않지만 전년도의 현장조사 결과값을 참고한다. t 기의 예측값은 $t-1$ 기의 현장조사값을 반영하여 계산된다. 이러한 방식은 영상판독결과를 후천적으로 평가하는데도 이용된다.
- 예측값들은 분류된 영상의 각 군집내의 픽셀의 개수와 군집에 연결되어 있는 행령과 토지피복 클래스의 일치도에 기반 하여 추산된다. 일반적으로 영상의 자동분류 방식에 의한 방식은 다양한 편의를 가져오는 것으로 알려져 있다.
- 판독작업자들은 변수들을(라벨링된 군집값) 일반적인 보조자료들에 맞추어 조정하는 작업을 하게 되며 이 작업을 통하여 영상판독과 현장자료 등을 결합하는데 유연성을 가져올 수 있다. 하지만 이러한 절차는 영상처리 판독자들의 숙련도에 따라 그 정확도가 좌우된다는 결점이 있다.

④ 재배면적변화 측정의 정확도

- 재배면적 변화의 신속한 측정의 경우 그 예측값이 서너달 후에 발간되는 EUROSTAT의 실제값과 비교되었다. 그 결과값을 비교해 볼 때 소수의 예외값들을 제외하고 조방적 농업지역에 대한 조기측정값은 매우 일관적이며 안정적인 결과를 보여주고 있다.
- Activity B에 있어서 예측값의 표준오차에 대해 말하는 것은 적절하지 않다. 왜냐하면 엄밀히 말해 현장의 각 구획들은 표본이 아니고 또한 현장지역당 예측값들의 상호 독립의 정도를 접근하는 자체가 어렵기 때문이다.
- 하지만 각 지역의 행정공식통계(EUROSTAT)의 값과 비교하는 것은 용이하다. 아래의 <표 9>에 보면 우변에는 이러한 비교로부터 구해진 평균제공값이 나타나 있다.

<표 9> Activity B의 정확도와 비교된 현장조사의 표준오차

	현장 조사		조기 측정						
	2-단계	1-단계	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월
일반밀	3.4	2.4	1	1.2	1.9	1.6	1.5	1.4	1.4
드럼밀	7.6	7	2.1	3	2.8	2.6	2.7	2.7	2.6
보리	2.8	1.4	4	4	3.2	2.5	2.7	2.4	2.4
쌀	2.8	1.7	7.7	9.9	9.6	6.1	5.7	5	5
옥수수	3.6	3.2	4	2.5	2.4	2.8	4	4.3	4
총 곡물	1.9	1.5	1.4	1.3	1	0.9	0.8	0.7	0.7
사탕무	11.2	10	6.7	4.6	4.4	2.8	4.3	2.9	3
해바라기	6.5	5.7	16.6	12	6.5	7.4	6.3	6.7	7.3
유채	8.2	6.3	6.3	9.6	9.8	11.5	11	10.4	10.3

- 조기측정의 결과값을 동일 지역의 현장조사결과값과 비교하여 볼 수 있다. 실제 현장조사는 1개의 현장 지역에 포함되어 있는 16개의 표본단위구에 대해 이루어지는데 따라서 예측치의 분산은 두개의 구성요소로 이루어져 있다.
- 현장지역들간의 분산과(1-단계분산) 현장내의 표본단위구들 간의 분산(2-단계분산)으로 이루어지는데 첫 번째 단계에서의 분산값은 40km×40km의 연구지역 전역이 현장조사 된 분산값과 샘플로부터 추정된 분산값의 일치여부를 통해 계산할 수 있다.
- 하지만 이 방식은 너무 비용이 많이 발생하기 때문에 실무에 도입할 수가 없다. 위 <표 9>의 좌측열은 실제 표본단위구의 현장조사에 의해 얻어진 표본오차와 현장지역이 전수조사되었을 경우

(1-단계분산)의 경우를 보여주고 있다. 이 정확도는 다음 공식으로 주어진다.

$$gs\ accuracy = \frac{100 \times std.error(\hat{\Delta Z}_t)}{\hat{Z}_t}.$$

- 위 <표 9>를 보면 일반밀과 총곡물의 경우에는 현장지역이 전수 조사 되었을 경우의 기대 표준오차보다 더 높은 것으로 나타났다. 이는 연구팀의 역량에 따라 더욱 높은 관심을 가진 작목에 따라 좋은 효율성을 가져 올 수 있음을 보여준다.
- 일반밀과 드럼밀, 옥수수, 유채의 경우 10월보다 4월과 5월의 경우 더 높은 정확성을 보여주고 있다. 4월의 측정의 경우 주로 연구지역의 절반정도에 해당하는 단일시기의 영상만을 가지고 측정이 되었다. 영상 분석여건이 정확도의 향상을 가져올 수 있음을 예상할 수 있다.
- RS기술로 인해 가장 관독이 용이한 것으로 알려져 있는 벼와 유채의 경우 RS조기측정이 2단계 분산값에 비해 높은 것으로 나타났다. 옥수수와 해바라기의 경우도 RS조기측정이 낮게 나타났다. 유채와 해바라기의 경우 최근 EU에 있어서 예측불가능한 발육양상을 보여왔다. 이는 사전정보가 잘 알려져 있지 않은 작목의 경우 현장조사가 더 효율적일 수 있음을 알려주고 있다고 할 수 있다.

⑤ RS에 있어서의 객관성과 인적자원

- 위성영상을 이용한 RS기술은 지표면 공각객체의 고유의 분광반사적특성을 통해 현장의 정보를 탐지하는 기술로서 매우 객관적인 조사를 수행할 수 있는 것으로 알려져 있다. 하지만 영상으로부터 이러한 분광반사적 특성을 추출해 내고 해석하는 것은 인적자원이 투입되어 하는 것으로서 연구자의 숙련도나 판단력이 매우 중요한 역할을 하게 된다. 현장의 실제정보가 부족한 경우에 이러한 인적자원에 대한 의존도는 심화된다.
- 현장정보가 부재한 지역에 대한 영상분류는 분류결과의 정확도에 따라 판독자의 재량으로 특정픽셀의 해당그룹을 편성하게 된다. 겨울작물의 경우 이러한 판단이 개입될 수 있는 한계는 10%에서 20%에 이르게 되며 이는 사전적 지식이나 판독의 정확도에 많은 의존을 하게 된다.

나. LUCAS survey의 RS 활용현황

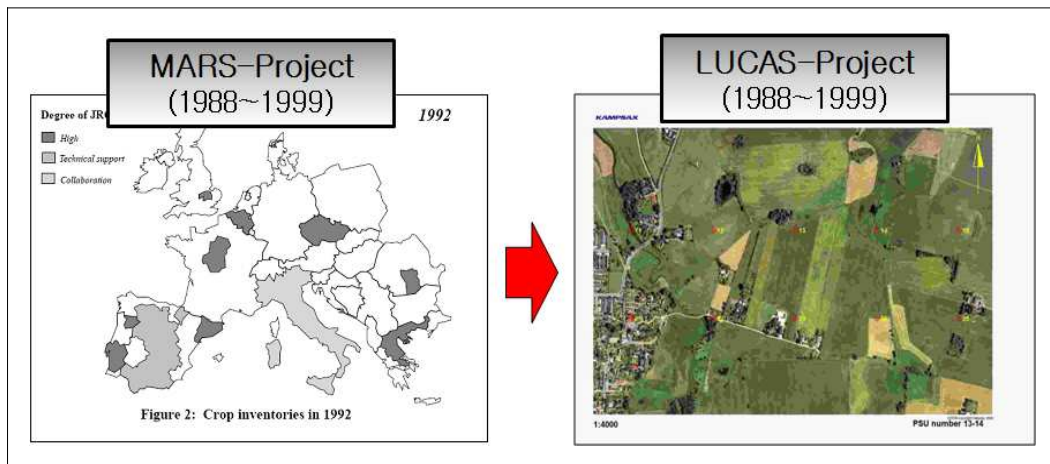
(1) LUCAS survey

- LUCAS 프로젝트는 'Land use/cover area frame statistical survey'를 의미하며 MARS 프로젝트의 종료와 함께 1999년부터 2003년까지 농업통계에 area frame과 원격탐사기술을 응용하기

위해 구주의회(European Parliament)와 구주이사회(European Council)의 의결로 인해 시작되었다.

- LUCAS는 지구좌표적(georeferenced)샘플의 시각적 관측에 기초하여 EU 전체 수준에서의 정확하고 대표적인 토지피복과 토지이용 추정치를 조기에 공급하고 다양한 환경정보를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

<그림 28> MARS-프로젝트 & LUCAS-프로젝트



- LUCAS는 다음과 같은 제 목표를 갖고 있다.
 - 적절한 시기에, 특히 넓은 의미의 농업관련 토지피복과 이용에 대한 정보를 수집하기 위해 지표면의 포인트에 기반한 area frame 조사를 수행함.
 - EU수준에서 주요 토지 이용/피복 현황과 농지의 변동 등에 대한 불편추정량(unbiased estimates)의 이용과 샘플 추출 계획, 공식

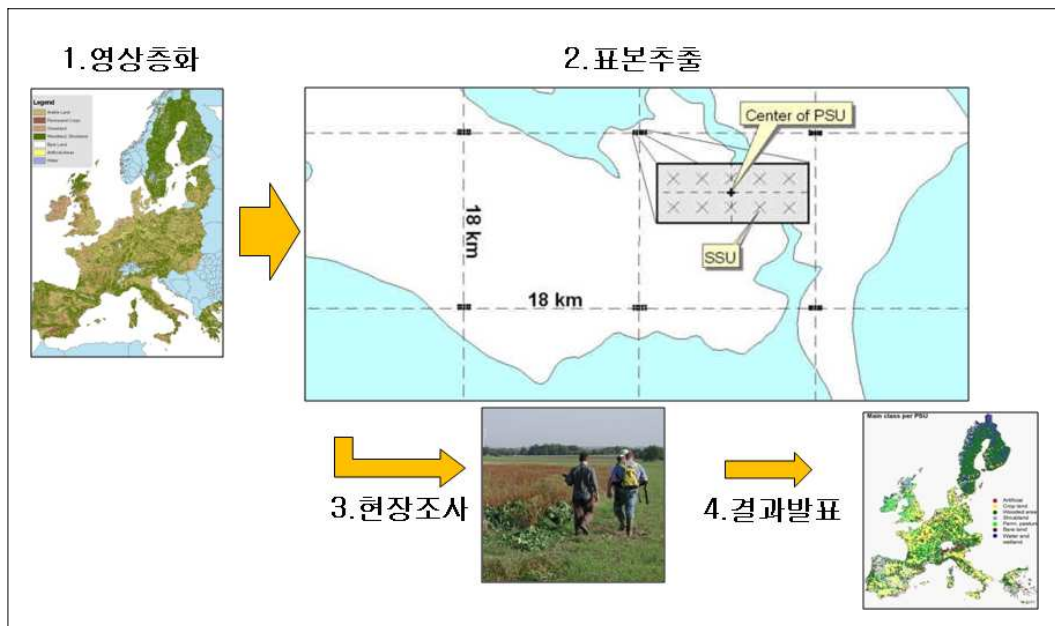
용어, 데이터 수집 등에 대한 표준조사방법론의 고안. 정확도는 밀, 곡물, 농지, 목초지, 산림, 도심, 담수 등과 같은 주요 비목들에 대하여 2%이상으로 할 것.

- 개별 회원국들이 일반적 LUCAS 방법론에 기반하여 샘플비율을 증가함으로써 국가 혹은 지방수준의 대표값을 획득할 수 있도록 ‘공통샘플추출기법(프레임, 공식용어, 데이터 처리)’을 제공함.
- 일반적인 농업지역의 범위로부터 환경, 다목적 이용, 경관보전 및 지속가능한 발전을 위한 범위로 확장.

(2) LUCAS survey의 운영절차

- LUCAS는 토지 포인트 frame survey이다. 주요샘플단위(PSU : Primary Sampling Unit)는 18km 크기의 regular grid에 위치해 있다. 2001년과 2003년의 조사에서는 조사의 다목적 성격으로 인하여 층화작업은 실시하지 않았다.
- PSU는 직사각형의 형태며 주로 90ha(1.5km×0.6km)의 면적으로 각 PSU는 10개의 보조 샘플단위(SSU : Secondary Sampling Unit)나 5개 지점의 동-서라인에 각 300미터 간격으로 위치해 있는 관측포인트들을 포함하고 있다. SSU는 7m²(지름 3m의 원모양 지역)의 동질적인 원형 포인트들이다. 총 면적이 376,970km²인 독일의 경우 1102개의 PSU와 11018개의 SSU를 가지고 있다.

<그림 29> LUCAS survey의 운영 절차



- LUCAS조사는 먼저 항공정사사진을 기반으로 하고 Landsat 영상을 보조로 하여 PSU에 대한 증화작업을 실시한다. 이 작업을 통하여 전 PSU는 <표 10>에서 볼 수 있는 7개의 층으로 분류된다.
- 증화된 PSU로부터 토지목록에 따라 현장조사 될 SSU가 추출된다. 목표정확도를 달성하기 위하여 약 250,000개의 SSU가 추출되며 주어진 예산 제약 하에서 최적화된 정확도를 유지하기 위하여 각 층은 각층에 따라 다른 샘플링 비율로 추출된다.

<표 10> 층별 표본추출비율

층	샘플링비율
경작지	50%
항구적 작물	50%
항구적 목초지	40%
임야, 산림	10%
나대지	10%
인공구조물	10%
수역	10%

- 이렇게 추출된 표본단위구 SSU들은 현장조사원들에 의하여 두 단계에 걸쳐 조사된다. 먼저 작물 생장 주기별로 현장 확인을 통한 현장 토지이용 현황과 재배면적 등의 통계를 산출하고 농가를 방문하여 농업인 인터뷰를 실시한다.

(3) LUCAS survey에서의 고해상도 위성영상의 활용

- 앞서 언급된 바와 같이 현행 LUCAS survey에서는 PSU의 층화 작업에 항공정사사진과 Landsat 중해상도 영상을 이용하고 있고 고해상도 위성영상의 활용범위는 아주 미미하다. 초고해상도 (VHR : very high resolution) 이미지의 사진 판독을 통해 현행 데이터와 LUCAS 기준에 의한 과거의 데이터들이 수집될 수 있다.

- VHR 이미지의 잠재적 이용가능성에 대한 연구목적은 현장 조사 자료를 보완하고 부분적으로 교체할 수 있도록 이용하는 데 있다
- 고해상도 위성영상을 LUCAS survey에 활용하기위해 작은 크기의 SSU들은 공간해상도 1m 이상의 초고해상도 영상과 높은 지리적 정합성을 필수적으로 요한다. 또한 시기적으로 토지피복/이용지도의 제작을 위해 작물의 성장기 및 추수이전기와 같이 특정 시간 내의 영상의 획득이 용이하여야 한다.
- 그리고 유럽전체의 완전한 커버를 위해서는 10,000개의 PSU에 대한 초고해상도의 영상이 요구된다. 하지만 이러한 여러 조건들은 영상획득 및 RS원천기술 그리고 예산상의 문제 등의 여러 제약 요소들이 존재하고 있다.
- 현재에도 LUCAS survey는 고해상도 위성영상을 활용하기위한 많은 연구를 진행하고 있고 연구된 대표적인 시나리오는 다음과 같은 것들이 있다.

① 접근불가지역의 지도제작

- 조사지역이 고도가 높거나 금지구역 혹은 위험지역과 같이 물리적 접근이 어려운 경우에 고해상도위성영상을 이용하여 접근하는 방식이다. 고해상도 위성영상을 이용하면 접근불가지역에 대한 전수조사의 결과를 얻을 수 있다.

- 하지만 원하는 시기의 원천영상이 존재하지 않을 수도 있고 영상 구입비가 비싸다는 제약이 있다. 이 방법은 LUCAS 2001에서 이미 실험되었으며 관독능력은 매우 우수한 것으로 증명되었다.

② 조사기간 사이의 관측

- 각 LUCAS 조사활동들의 시행주기는 관측에 필요한 최소한의 시차의 간격여부에 따라서 조사결과의 항상성을 다양하게 해 준다. 영상관독을 통한 두 현장조사 시점사이의 관측은 피조사 대상에 따라 다른 시차를 요구하는데 농경지조사와 같은 LUCAS의 기본 조사는 매년 이루어져야 하며 인공구조물, 임야, 항구적 목초지, 나대지 등의 경우는 매 3년을 주기로 할 수 있다.
- 하지만 이러한 활용도 또한 가까운 시일 내에는 고해상도 영상의 획득 문제 등으로 인하여 실현되기 어렵다. 현재 항공사진으로 이러한 작업을 수행할 수 있는 지역에는 이러한 방법이 도입되는 것이 유용하며 앞서 살펴본 바와 같이 접근이 곤란한 지역에 먼저 이러한 방법을 적용하는 것이 바람직하다.

③ 현장조사의 검증

- 초고해상도 위성영상은 PSU의 subset과 SSU 수준에서 현장조사의 정확도 평가를 위한 사후검증의 자료로 사용될 수 있다. 현장

조사결과의 정확도를 독립적인 수단으로 평가해 볼 수 있다. 하지만 이 또한 고해상도 영상의 안정적인 공급이 선행되어야 함으로 여러 제약이 뒤따른다.

3. 중국의 농업통계분야 항공우주기술 응용

가. 중국농업통계 RS 활용 연구 개발현황

- 중국의 농업분야에의 RS응용연구는 RS기술을 수확량예측에 이용하기 위한 관심에서 비롯되었다. 중국과학원(中國科學院 : Chinese Academy of Science)을 비롯한 많은 연구기관들의 오랜 기간의 연구 끝에 국가농정원격탐지관측시스템(国家级农情遥感监测系统 : agricultural condition monitoring system)과 중국농정원격탐지속보시스템(中国农情遥感速报系统 : China Crop Watch System)과 같은 RS응용시스템이 구축되었다.
- 제7차 5개년 계획 중에 처음으로 위성영상을 이용한 겨울밀에 대한 수확량예측 매우 성공적으로 이루어졌으며 중국북부지역의 겨울밀에 대한 관측 및 수확량예측 시스템이 구축되었다. 이 시스템은 1990년 이래로 기상청에서 운영하고 있으며 벼와 옥수수과 같은 주요작물에도 확대되어가고 있다.

- 제8차 5개년 계획 동안 중국과학원과 농림부를 비롯한 40여개의 기관에서 밀, 옥수수과 벼에 대한 광역적인 수확량예측 시스템을 구축하였다. 1995년 정보시스템과 작물관측시스템에 기반 한 국가자원 및 환경 데이터베이스가 구축이 되었다. 동시에 중국의 각 지역별로 다양한 관련연구가 수행되었다.
- 1998년 중국과학원은 ‘중국농정원격탐지속보시스템’의 구축을 진행하였으며 국가전체수준의 작물별 수확량 예측시스템이 점진적으로 연구되었다. 두개의 개별적인 샘플링 프레임을 사용하는 경지면적 관측기술이 이 시스템에서 개발되었으며 중국의 특성을 잘 반영하고 있다. 작물별 재배면적 비율을 현장 관측하는 GVG 시스템도 이시기에 개발이 되었다.
- 1998년 이래 현재까지 중국과학원은 중국 통계청과 별도로 CCWS와 GVG시스템을 이용하여 주요 곡창지역에 대한 재배면적측정에 대한 통계를 생산해 오고 있다.
- 2003년에서 2005년까지 중국 통계청은 허베이, 장수, 안후이, 상동, 헤난성의 주요작물에 대하여 다중 축척 원격탐사영상을 이용한 연구를 진행하였다. 또한 많은 과학자들이 작물원격탐사모델, 벼재배지역과 수확량예측모델, 겨울밀 재배면적과 수확량예측모델 등과 같은 모형들을 개발했다.
- 하지만 RS원천기술의 제약과 보조자료 등의 한계로 인해 아직도

많은 부분들이 실험단계에 있다. 또한 RS데이터 획득과 조사의 정확도 측면 등도 여전히 해결되어야 하는 부분으로 남아있다. 중국 통계국은 RS에 기반한 국가 통계 정보 공유 및 서비스 플랫폼을 구축하기 위한 ‘국가 통계 원격탐사 시스템 기술개발 및 응용’사업을 시작하였다.

(1) 국가 통계 원격탐사 시스템 기술개발 및 응용

- 중국은 많은 수의 현장조사팀을 보유하고 있지만 표본프레임의 노후화, 수작업에 의한 데이터수집 그리고 비효율적인 데이터의 가공과 처리 등과 같은 애로사항에 직면해 있다. 이런 실정 하에서 농업통계분야에서의 RS도입은 매우 의미 있다.
- RS와 GIS기술을 중국의 농업통계에 응용하는 것은 경지표본추출 시스템과 표본조사방법, 데이터의 대표성확보 등에 있어서 진일보한 결과를 가져왔다.

(2) 대지표본조사시스템(the Earth sampling survey system)

- 전통적인 표본추출방법에서는 각 행정수준에 따라 샘플링 프레임이 결정이 되고 이는 샘플의 대표성확보에 많은 어려움을 가져온다. 농경지의 대표성확보와 원래의 표본추출법의 기능을 향상시키기 위해 중국 통계청에서는 RS와 통계 샘플링 기술을 개발하였다. 통계적분석의 정확도를 유기하기위한 전제조건으로 3S기술

이 이용된다.

- 이는 현장표본을 분산하고 RS를 이용하기 위한 공간 샘플링 기술이다. 주요작물과 관련 경지이용도를 조사하기 위해 RS와 통계적 기법이 결합된 외삽법(extrapolation)이 개발되었다. 또한 표본조사군, 마을과 필지들이 MPPS(Multivariate and Probability Proportionate to Size)의 바탕 하에 분산된다.
- 농촌지역의 대지표본추출방법론은 13개의 주요 곡물생산 도에 대한 표본을 추출하기 위하여 개발되었으며 시범 도에 대하여 샘플링 단위의 베이스가 구축되었다. 샘플링 단위 베이스는 주로 대지샘플링단위의 공간정보와 자연환경속성정보와 사회후생적 속성정보를 포함하고 있다.
- 가장 적절한 대지표본추출시스템의 구축을 위해 격자형공간대지표본추출법(the grid spatial Earth sampling method), 공간대지표본추출법(the spatial Earth sampling method), catalog sampling with spatial sampling method 과 multilevel sampling method 등과 같은 표본추출 비롯한 다양한 방법론들이 테스트되었다.

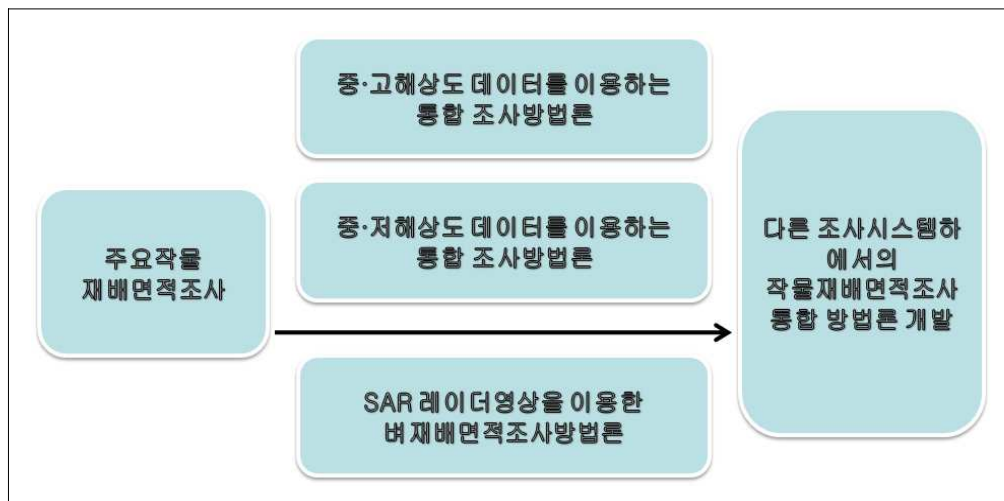
(3) RS에 의한 작물재배면적과 수확량조사

- 작물재배지역의 변화와 주요작물에 대한 작황 및 수확량예측은 농업정책과 경제정책을 수립하는데 매우 중요한 기초 자료이다.

특히 중국의 경우 RS를 이용한 재배면적과 수확량조사는 현행 전통적 통계기법을 진일보 시킬 수 있다.

- 통계청은 ‘RS작물재배면적조사 및 주요곡물생산지역에 대한 수확량예측(Grain Crop Planting Area Remote Sensing Survey and Yield Estimation Operation System for the National Main Grain Production regions)’사업을 현(county), 성(province), 국가 전체 수준에서 각각 수행하였다.

<그림 30> 작물재배면적추정을 위한 연구체계도



- 다수의 시범지역들에서의 연구가 주요 기술들을 축적하기 위한 관련연구가 수행되었으며 다중 해상도별 영상(저,중,고해상도)과 현장 조사의 결과를 통합하는 연구들이 추진되었다.

- 위의 <그림 30>에서 보듯이 크게 3가지 측면에서 이루어졌으며 중해상도와 고해상도 위성영상을 통합하는 방법과 중해상도와 저해상도 위성영상을 통합하는 방법이 연구되었다. 벼재배지역의 추출에는 매우 높은 정확도를 가지는 SAR RADAR영상을 이용한 벼재배면적 추정연구가 진행되었다.

(4) 국가 통계 RS 운영시스템

- 시범연구들의 실무로의 확대적용을 위해 통계청은 ‘국가 통계 RS 운영시스템’의 구축을 준비하고 있다. 이 시스템 내에서 통계적 표준 범위, index 현장 다중수준(multilevel) 표본조사와 GIS, GPS 기술에 기반한 기술적 방법론 등이 구축되며 통계 정보 기본 플랫폼의 개발과 국립 통계 RS정보 시스템의 운영서비스가 개발될 것이다.

(5) 관련 업무

- 중국 통계청은 RS기술의 활용 범위와 기술을 더욱 확대하기 위하여 많은 연구기관과 제휴하여 연구를 지속하고 있다. 2001년 통계청의 요구에 따라 저장성(浙江省)에서 한국 농림부와의 합동 농업 통계 기술 프로젝트의 일환으로 작물재배면적 표본조사가 수행되었다.
- 연구결과는 중국의 현행통계조사 방식이 아닌 표본조사방법이 과학적이고 운영하기 쉽다는 것을 보여주고 있다. 표본조사를 용이

하게 하기위한 RS기술의 응용은 필수적이라고 볼 수 있다.

- 2003년에서 2005년 사이 통계청은 Beijing Normal University(BNU)와 합동으로 RS를 이용한 경지 증화와 표본추출법, 주요작물재배면적의 판독과 현장 조사와 RS의 연계방법 등에 대한 프로젝트를 실시하였다. 허베이 헤난 산둥 장수 안후이 등 주요 5개성에서 수확량예측에 대한 현장 실험을 실시하였으며 매우 의미 있는 결과를 얻었다.
- 2004년에 NBS는 헤난성에서 RS에 의한 겨울밀 재배면적의 추정 실험을 하였으며 이후 이 시스템은 주요 5개 성에서 여름작물과 가을작물의 재배면적 추정에 응용하는데 큰 역할을 하였다. 2006년 5개 성에서의 RS에 의한 여름작물의 추정기법의 바탕 위에 NBS와 BNU 그리고 Institute of Regionalization of Academy of Agricultural Sciences 은 장수성의 피저우 시에서 주요 가을작물에 대한 실험을 실시하였다.
- 가을작물에 대한 기술적 어려움들의 극복을 목표로 한 이 작업은 RS 통계 도입의 운영에 이론적이면서 실무적인 토대를 구축하였다. 2006년 NBS는 과학기술부와 합동으로 중국의 기술혁신사업인 ‘국가 원격탐사통계운영핵심기술개발(National Statistic Remote Sensing Operational System Key Technology Research and Application)’사업을 계획하였으며 이 사업은 곧 실무에 도입될 것이다.

- 2003년과 2007년에 각각 조사대상 시·군들은 GPS장비를 보유하게 되었다. 2007년 북경시립통계국과 NBS의 북경조사팀과 합동으로 ‘북경통계환경자원RS운영시스템(Beijing Statistic Ecological Resources Remote Sensing Survey Running System)’프로젝트를 시작하였으며 이 사업으로 인해 최신 공간정보기술과 식생지수 등을 이용하여 수확량을 예측할 수 있는 통계적 처리기법 등에 대한 기술개발을 시작하였다.

나. 2단계 총화추출을 이용한 작물재배면적 추정

- RS기술에 기반 한 작물재배면적추정 기법을 중국의 전 지역에 확대하기에는 크게 3가지의 다음과 같은 애로사항에 당면하게 된다.
- 작물생장시기에 맞춘 전 지역의 영상의 확보문제이다. 영상자체의 획득뿐만 아니라 영상처리를 위한 충분한 시간 또한 확보하기 어렵다. 영상 획득 후 CCWS(China Crop Watch System)을 이용하여 영상을 처리하는 데 주어지는 시간은 1~2주에 불과하다. 중국과 같이 넓은 국토의 영상을 이 짧은 시간에 처리하는 것은 거의 불가능하다.
- 또한 적절한 시기의 적절한 해상도를 가진 영상을 확보하는 것이 매우 어렵다. 기상조건 등과 작물별 영상판독이 용이한 생장기간 등을 고려하여 볼 때 획득할 수 있는 영상의 수는 매우 제한적이다.

- 중국남부지방의 삼모작 같은 윤작시스템과 중국북부지방의 혼작 시스템은 RS 기술만으로 작물의 분포현황과 재배면적을 판독하는데 어려움을 가져다준다. 이는 IKONOS와 QUICKBIRD와 같은 초고해상도 위성영상을 이용한다 하더라도 전 작물의 재배면적을 정확히 추출하는 것은 매우 어렵다.
- Landsat-TM영상의 NDVI지수를 이용하여 겨울밀의 재배면적을 90%이상의 정확도로 추출해 낸 실험결과(Xu Xiru)가 있지만 이는 겨울밀을 제외한 다른 작목이 재배되고 있지 않았기에 가능한 일이었다. 혼작시스템을 갖고 있던 카이펑지역과 헤난성의 경우 90%이상의 정확도로 작물을 구별해 내는 것은 매우 어려웠다. 따라서 광학영상만을 가지고 작물재배면적추정을 위한 CCWS의 운영조건을 충족하기는 불가능하다.
- 따라서 RS를 응용한 두 단계 층화기법을 제시하고 RS와 area sampling frame 기법을 결합하는 새로운 방법론의 개발이 필요하다. CCWS의 샘플링 기법을 이용함으로써 전체지역을 커버하는 영상을 확보하는데 따른 애로를 해결함과 동시에 추정의 정확도를 효율적으로 향상시킬 수 있게 된다.
- 첫 번째 샘플링 단계에서는 1:100,000축척의 지도와 군집추출법에 의해 선택된 RS 자료를 이용해 군집추출프레임(cluster-sampling frame)을 구축하였다. Landsat-TM 과 같은 위성영상을 이용해 작물의 재배면적을 추정하는 것은 어렵지만 작물별 분포비율을

추정하는 것은 어렵지 않다(Li Qiangzi, 2004).

- 전체 작물의 총 면적 추정 능력을 이용하면서 모든 두 번째 층의 총 작물의 비율을 추정한다. 두 번째 샘플링단계에서는 작물종류의 비율을 조사하기 위한 횡단추출법(transact-sampling)을 이용한다. 마지막으로 작물의 재배면적은 농경지 비율과 각 작물별 비율을 바탕으로 추산되게 된다.
- 샘플링을 위하여 중국전체의 경작지를 크게 3개의 그룹으로 나누었다. 층화 후 11개의 제1수준 층화와 44개의 제2수준층화, 그리고 102개의 제3수준층화작업을 실시하였다.
- 경지내의 전체 작물재배비율은 제2수준에서 추정하며 작물별 재배비율은 제3수준에서 추정된다. 벼의 재배면적의 경우 영상판독만으로도 높은 정확도를 보여주는 SAR 영상을 이용하였기에 현장조사가 요구되지 않으며 벼 재배면적의 경우 총경지면적에 벼 재배비율을 곱하여 줌으로써 쉽게 추정될 수 있었다.

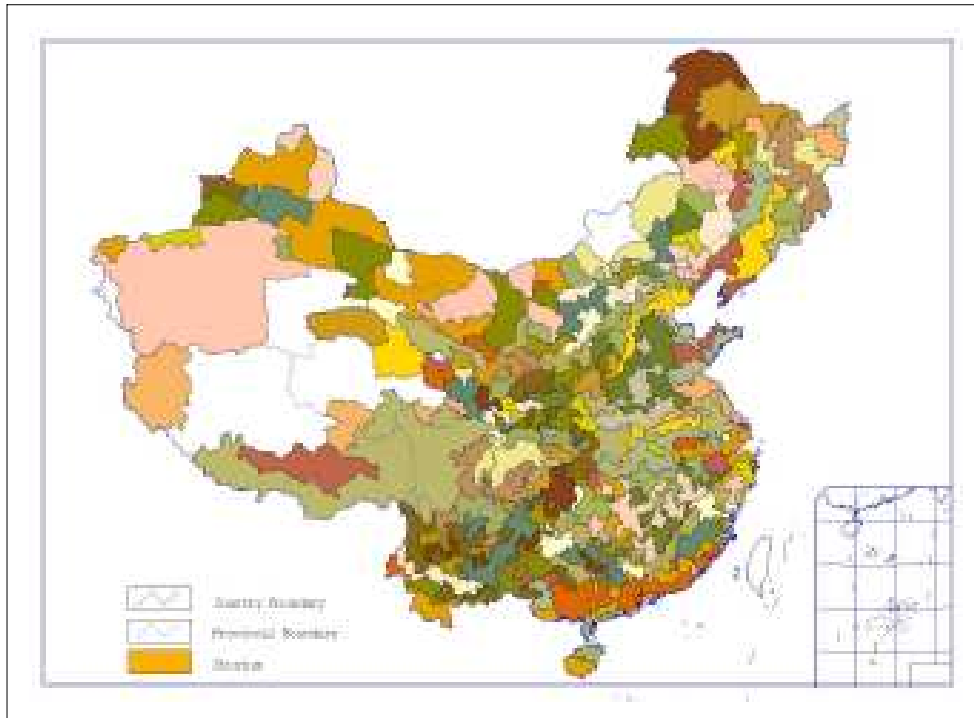
(1) 층화

- 작물재배면적조사에 있어서 층화작업은 효율성과 정확성을 동시에 가져오는 방법으로 알려져 있다. 작물재배비율을 추정하기 위한 군집추출법과 작물별 재배비율조사를 위한 횡단추출법에 매우 효과적인 방법이 된다. 제1수준의 층화과정에서의 층화의 주요기

준은 대기온도, 강수, 일조량, 토양성분과 정성적인 속성과 윤작체계 등이 포함된다. 이 기준에 의해 11개 층의 제1수준 층들을 얻게 된다.

- 제2수준의 층화작업에서는 현(county) 수준에서 작물별 비율이 층화작업의 중요기준이 된다. 벼, 밀, 옥수수과 콩 등의 4개의 주요 작물이 층화기준으로 이용된다. 이 작업을 통해 44개의 제2수준의 층을 얻게 된다. 제3수준의 층화작업에는 농경지의 영농 시스템 등에 대한 일관성이 주요 층화기준으로 이용된다.
- 먼저 1:100,000 축척의 China Land Resources Database로부터 농경지를 추출한 후 모든 1km×1km의 격자에서 동질적인 경작시스템을 계산하여 102개의 제3수준의 층을 구축한다(그림 31).

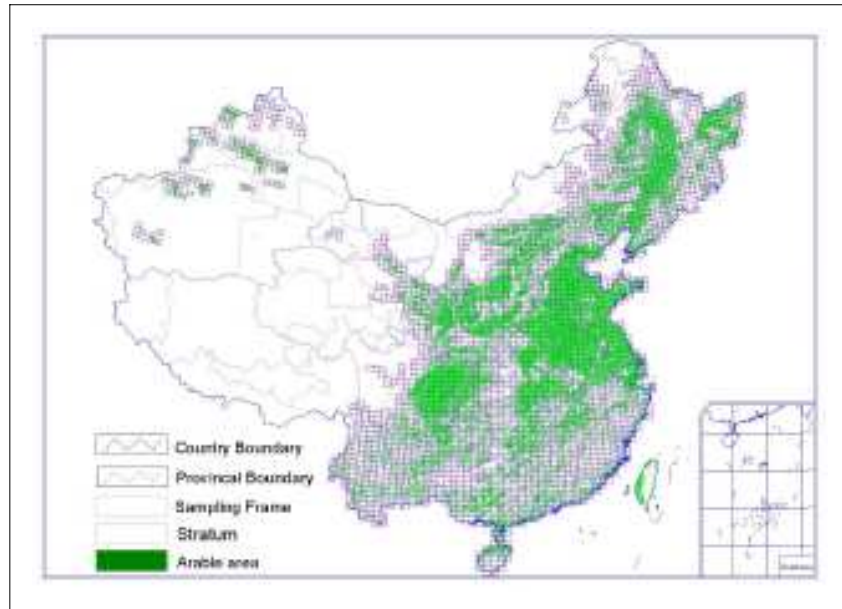
<그림 31> 작물재배면적추정을 위한 층화작업(제3수준)



(2) 군집추출법

- CCWS는 제2수준의 층에서 주어진 정확도를 충족시키기 위하여 각 층을 재분할하고 각 군집(cluster)으로 분류한다. 먼저 샘플링 프레임 구축하기 위하여 1:100,000 축척의 표준지형도를 이용한다. 각 군집은 Landsat-TM의 영상의 1/16크기의 관측범위와 유사한 1270KM²~1950KM²의 크기로 편성한다. 이렇게 추출된 군집들은 작물비율을 관측할 위성영상을 선택하는데 이용된다(그림 32).

<그림 32> 작물재배비율추정을 위한 표본프레임구축



- 마지막으로 표본군집을 무작위로 추출하게 되며 샘플의 크기는 다음 방정식을 사용하여 계산된다.

$$n = \frac{n_0}{1 + \frac{n_0 - 1}{N}}$$

$$n_0 = \frac{t_a^2 p(1-p)}{d^2}$$

- n 은 샘플의 크기를 의미하며 n_0 는 단순무작위추출에 따른 샘플의 크기 그리고 N 은 모집단의 크기를 의미한다. d 와 t 는 정규분포의 가정 하에 사전에 결정된 표본오차와 t 값이 된다. 작물재배비율인 P 값은 사전 샘플링에 의해 주어진다.

- 단순무작위추출법의 표본의 크기는 군집을 이용하는 군집추출법의 표본의 크기보다 더 크며 더 정확한 표본추출정확도를 기할 수 있기 때문에 샘플사이즈는 군집 간 혹은 군집 내의 분산에 의해 결정되지 않는다.

(3) 영상 처리

- 작물비율관측을 위해 Landsat TM 혹은 CBERS CCD의 영상을 이용하게 된다. 영상의 전처리는 방사보정과 기하보정의 처리 후 SAVI 지수를 계산한다. SAVI는 영상내에서 지표면의 객체의 반사값을 반영하는 좋은 지수로서 향후 영상판독단계에서 이용된다¹⁵⁾.
- SAVI layer와 6개의 TM 밴드들을 융합한 후 참조자료를 이용하여 비경지 부분은 마스킹 처리하여 처리시간을 줄이게 된다. 이 단계가 마치면 ISODATA 알고리즘을 이용하여 무감독분류를 실시하게 된다.
- 분류작업이 종료되고 나면 모든 군집들은 영상처리 전문가의 감독 하에 특정작목이 재배되고 있는 지역에 대한 라벨링 작업이 이루어진다.

15) SAVI index : $((TM4-TM3)/(TM4/TM3+0.5)+1)*100$

(4) 작물재배비율의 연산

- CCWS는 작물의 재배비율을 불균등 군집표집법(unequal cluster sampling)을 이용해 작물재배비율을 연산한다. 작물재배비율 p 는 다음 방정식에 의해 연산된다.

$$p = \frac{n \sum a_i}{n \sum m_i}$$

n : 군집의 개수(영상프레임의 개수)

a_i : 영상내의 작물재배지역으로 나타난 모든 픽셀

m_i : 영상내의 모든 픽셀의 개수

- 작물비율연산은 3단위에서 계산된다. 먼저 위의 공식을 이용한 영상수준에서의 연산이다. 다음단계는 가중평균을 이용하여 층별 단위에서의 연산하며. 마지막으로 가중평균을 이용한 각 성(省 : province)단위에서의 연산이다. 가중치는 각 성내의 모든 층에서의 경지면적의 비율을 연산한다.

(5) 작물재배비율연산의 정확도 검증

- RS를 이용한 작물재배비율의 관측의 정확도를 측정하기 위해 카이핑과 타이구지역의 시범연구가 수행되었다. 카이핑지역에서는 여름수확작목의 재배비율을 관측하기 위하여 2001년 4월 1일 촬영

된 Landsat 영상이 이용되었으며 타이구 지역에서는 가을 수확작목의 관측을 위해 2003년 10월 14일에 촬영된 Landsat 영상이 이용되었다.

- 동시에 2001년 5월 21일에 촬영된 카이펑지역의 IKONOS 영상이 확보되었으며 분류작업을 통해 작물의 재배면적들을 도출하였다. 타이구 지역에서는 작물필지지도의 제작을 위해 Quickbird영상을 확보하였으며 필지별로 작물의 형태나 토지이용 정보를 기입한 후에 작물재배면적을 총합하였다.
- Landsat 영상을 이용한 작물재배비율결과와 고해상도영상을 이용한 결과의 비교를 통해 Landsat 영상을 이용한 작물재배비율추정의 정확도는 매우 높은 것으로 나타났으며 카이펑지역과 타이구 지역의 정확도는 각각 최대 99%, 97%로 나타났다.

(6) 작물별 재배비율 조사

- 중국의 농지들은 재배필지들의 크기가 작고 지형이 복잡하여 작은 재배비율을 차지하고 있는 작물에 대한 조사를 반영하기는 매우 어렵다. 농업면적통계조사가 작물별 재배비율을 추정하기 위해서 표본추출방법은 다음의 두 가지 조건을 충족하여야 한다.
 - 제한된 조사 기간 내에 현장조사를 달성할 수 있는 충분한 표본 효율성을 가질 것
 - 편의 없는 작물별 재배비율의 추정을 달성할 수 있는 충분한 표

본정확성을 가질 것

- CCWS는 표본조사 방법론으로 벨트트랜섹트법(transect sampling frame)을 이용 한다. 작물별 재배비율 현장 조사를 위해 두 단계의 샘플링 단계를 거쳐 벨트트랜섹트 프레임을 구축한다. 먼저 제3수준의 작물재배비율 층화지도 위에서 4km×4km 크기의 격자 프레임을 배열한다. 단순무작위추출법의 표본크기 결정방정식으로부터 표본의 개수를 결정한다. 중국 전체에 걸쳐 102개 층에 대하여 3579개의 PSU가 있다. 평균표본추출비율은 1.82%이다.
- 두 번째 단계로 모든 PSU 내의 도로에 기반 한 단위구로부터 벨트트랜섹트를 추출한다. D 는 벨트트랜섹트의 폭을 의미하며 표본추출비율 n 은 다음과 같이 구해진다.

$$n = \frac{LD}{K^2} \times 100\%$$

L : 벨트트랜섹트의 길이

K : PSU의 크기

- K 와 D 는 사전에 알려져 있기 때문에 L 이 표본추출율을 결정한다.

$$L = \frac{K^2 n_s}{D}$$

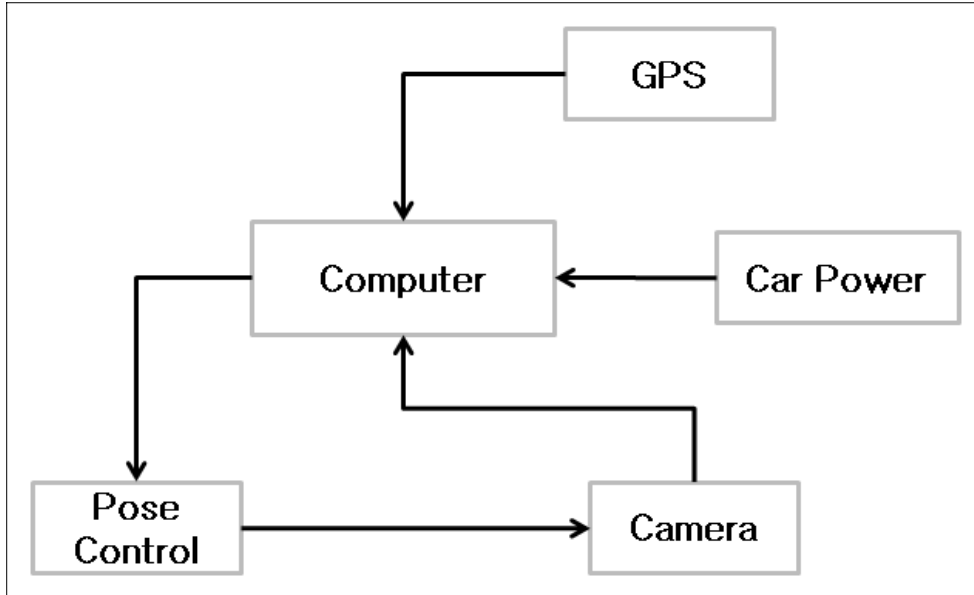
- 표본 벨트트랜섹트가 추출될 때 CCWS는 2%의 표본추출 비율을 이용한다. PSU의 크기인 K 가 4km이며 벨트의 폭인 D 가 0.1km이며 표본추출율인 n 이 2%라면 벨트 L 의 길이는 3.2km로 결정

된다. 중국 전역에 걸쳐 추출된 벨트트랜섹트의 길이는 11,500km에 달한다.

(7) GVG 시스템을 이용한 현장조사작업

- 제한된 시간 내에 현장조사를 효과적이며 정확하게 달성하기 위하여 CCWS는 GVG 전용 현장조사시스템을 개발하였다. GVG시스템은 GPS와 GIS가 연동된 비디오카메라를 장착한 시스템으로서 GVG시스템을 장착한 차량이 표본 벨트트랜섹트를 따라 운행을 하면 비디오카메라는 현장의 스냅사진을 촬영하게 된다.
- GPS에 의해 자동적으로 위치정보가 기록되는 영상들로부터 판독된 작물재배비율의 현장정보는 GIS 시스템에 기반한 데이터베이스에 자동적으로 기록된다.

<그림 33> GVG 시스템의 hardware



* 참고 : Yichen Tian, 'An Effective Field Method of Crop Proportion Survey In China Based on GNG Intergrated System', 2004

(8) 작물별재배비율 연산

- 현장조사가 끝나면 영상관독결과는 다음의 공식에 의해 작물별 재배면적비율이 연산된다.

$$P = \frac{\sum_{j=1}^M a_j}{\sum_{i=1}^N A}$$

P : 특정 작물 j 에 대한 비율

a_j : 영상 i 내에서의 작물 j 의 비율

A : 영상 i 내의 모든 작물의 비율

N : 전체 영상의 개수

M : 조사된 총 작물

- 작물별재배비율은 3수준에서 계산이 되는데 먼저 PSU수준에서 계산된 후 각 층별로 평균면적이 계산된다. 마지막으로 가중평균법에 의해 성단위에서 작물별 재배비율이 추정된다. 가중치는 각 성내에서 모든 층의 면적을 바탕으로 결정된다.

(9) 표본 작물별재배비율 조사의 정확성

- GVG에 의한 조사작물별재배비율 조사의 정확성을 추정하기 위해 5개의 검증지역에 대한 현장전수조사가 이루어졌다. 그 결과는 다음 <표 11>에 나타나 있다.

<표 11> 벨트트랜섹트법에 의한 정확도 검증

검증지역	2000	2001	2002		
	벼	벼	벼	옥수수	겨울밀
데후이	94.3	94.4	-	-	-
상양	-	-	95.9	92.5	-
루안청	-	-	-	100.0	98.9
신저우	-	-	89.1		-
장닌	96.0	99.9	92.4		-

- 벼의 경우 89.1%에서 99.9%로 다양하게 나타나는 반면 대부분의 정확도는 94%이상으로 매우 높게 나타나고 있다. 현장전수조사에 의한 검증결과 GVG를 이용한 벨트트랜섹트 표본조사는 CCWS

의 운영요구수준을 만족하고 있음을 알 수 있다.

(10) CCWS에 의한 작물재배면적의 추정

- CCWS는 먼저 층화단계에서 작물별 재배면적을 추정하게 된다. 그리고 각 구·시단위에서의 면적이 추정되며 최종적으로 성단위의 면적값이 도출되게 된다. RADAR영상과 광학영상(optical image)에 따라 추정방식이 조금씩 다르게 이용된다. RADAR영상을 이용하여 벼의 면적을 추정하는 공식은 다음과 같다. 여기서 벼의 재배비율은 군집추출법과 RADAR 영상을 이용해 획득한다.

$$\text{벼재배면적} = \text{총경지면적} \times \text{벼재배비율}$$

- 광학영상을 이용할 경우 작물별 재배면적추정은 두 단계로 나뉜다. 먼저 CCWS는 다음과 같이 작물의 재배비율을 총경지면적에 곱함으로써 총 작물재배면적을 산출한다.

$$\text{작물재배면적} = \text{총경지면적} \times \text{작물재배비율}$$

- 그리고 CCWS는 총작물재배면적에 각 작물의 재배비율을 곱하여 산출한다.

$$\text{작물별 재배면적} = \text{총작물재배면적} \times \text{작물별 재배면적}$$

4. 일본의 농업통계분야 항공우주기술 응용

가. 일본 농업통계의 RS활용현황

- 일본 농업통계에 있어서의 RS기술의 활용은 주로 경지면적과 작물재배면적통계 조사에 있어서의 실용화를 염두에 두고 1995년부터 다양한 실험과 연구를 통해 관련기술을 축적해 오고 있다.
- 하지만 산간지역에 분포한 경지들이 많으며 필지의 규모가 상당히 작기 때문에 RS를 이용해 농업통계를 완전 대체하는 것은 매우 한계가 있으며 기후적 여건에 따라 구름이 없는 깨끗한 영상을 확보하는 것이 매우 어렵다는 제약이 있다.
- 하지만 일본은 RS를 이용한 농업통계산출을 위하여 관련 인프라를 구축하고 관련기술을 축적하고 있다. 일본은 2006년 발사되었던 자국위성 다이치(ALOS)를 농업통계에 이용하는 방안을 검토하고 있다.
- 농림수산성은 일본의 우주항공연구개발기구인 JAXA와 함께 「ALOS 위성의 데이터를 이용한 벼재배면적 산출」사업 프로젝트를 추진하고 있다.

- 다이치는 2.5m급(pan)의 센서와 RADAR 센서를 모두 탑재하여 기상과 밤낮에 관계없이 지상을 탐지할 수 있어 일본의 기상조건을 극복하는데 큰 역할을 수행할 수 있을 것으로 예상된다. 또한 농림수산관련기관간의 영상공유시스템인 ‘농림수산 위성화상 데이터베이스 시스템-SIDaB(Satellite Image Database System in AFF)’을 구축하여 2000년 7월이래 운영해 오고 있다.
- SIDaB는 주로 MODIS, NOAA 등과 같은 저해상도 기상관측위성을 이용하여 일본뿐만 아니라 전세계지역의 영상들을 실시간으로 모니터할 수 있도록 제공하고 있다.

<그림 34> 일본 SIDaB 시스템 화면



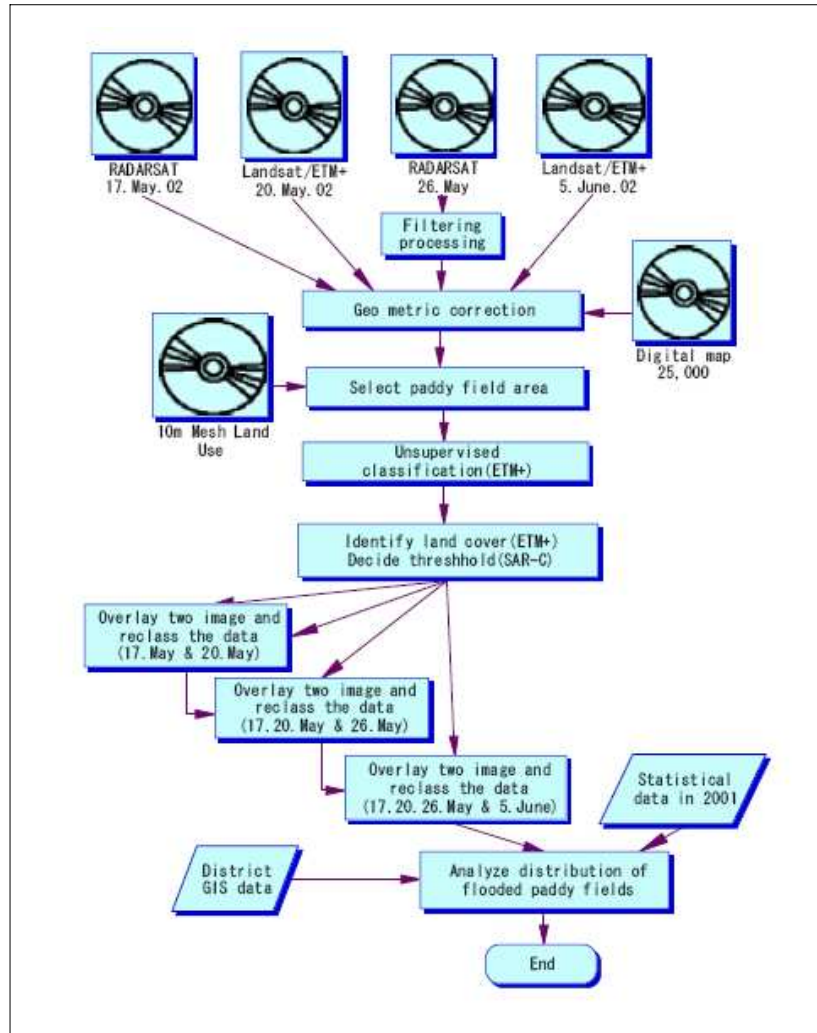
나. 일본 국립 농업공학연구소의 연구사례

- 일본의 국립 농업공학연구소(農業工學研究所)에서는 RS기술을 이용한 농업면적통계에의 활용을 위한 다양한 연구와 관련기술을 축적하여왔으며 대표적 사례 두 가지를 소개하면 다음과 같다.

(1) 위성영상을 이용한 담수논의 면적추정

- 담수시기의 논 면적을 추정하기 위하여 날씨에 상관없이 촬영할 수 있지만 고비용을 요구하는 SAR 데이터와 비교적 저렴한 가격이지만 날씨의 영향을 많이 받는 Landsat 영상을 융합하여 담수논의 면적을 추정하였다.
- 연구지역인 오와리 세이부지역의 5월초부터 6월초사이의 담수논의 면적을 추정하기 위해 SAR영상으로 2002년도의 5월 17일, 26일의 RADAR영상을 이용하였으며 광학영상으로 동년 5월 20일, 6월5일의 Landsat-ETM+ 영상을 이용하였다. 본 연구의 추진체계는 다음 <그림 35>와 같다.

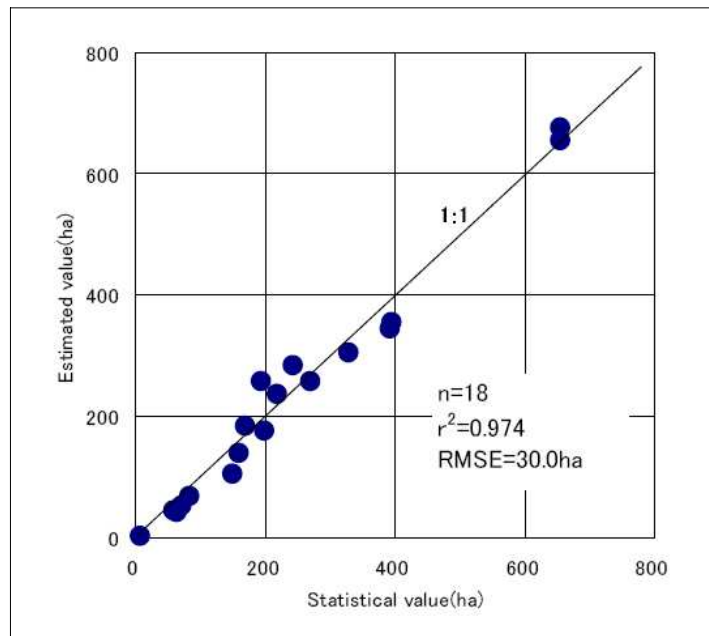
<그림 35> 연구추진체계도



- 논이 담수상태에 있을 때 RADAR 영상의 후방산란 데이터(back scattering data)의 값은 감소하며 Landsat-ETM데이터의 근적외선영역의 반사값은 낮게 나타남으로써 담수논의 위치와 면적을 추정할 수 있게 된다. 영상판독작업 또한 실시하여 통계자료와 비교하였으며 비교결과 두 값은 매우 높은 일치도를 보였다(그림 36).

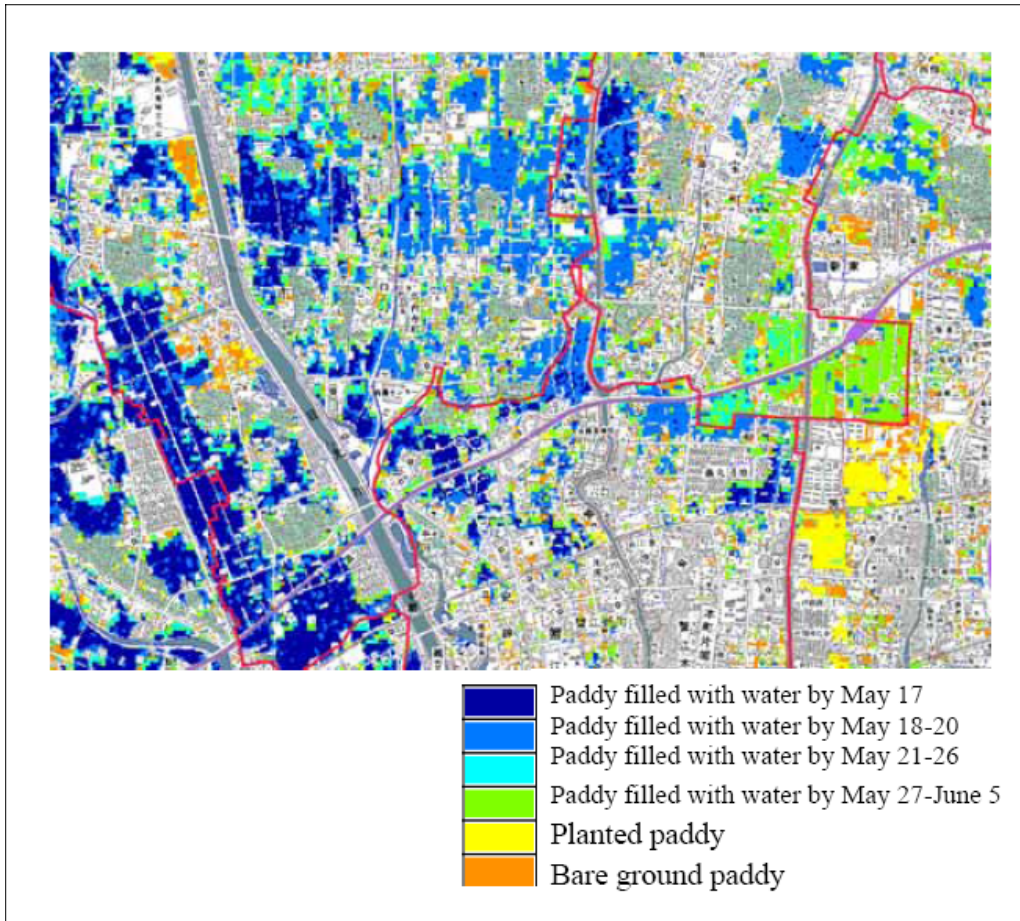
- 결과로부터 담수시기의 논의 면적은 SAR데이터와 Landsat-ETM+ 영상을 조합함으로써 매우 정확하게 추정할 수 있으며 관개시설의 상태 또한 점검할 수 있음을 보여주고 있다.

<그림 36> 영상판독결과와 행정통계값과의 비교(논벼)



- 연구에 이용된 각 시기별 영상으로부터 각 시기에 따른 연구지역 내의 논의 관개상태와 담수현황을 알 수 있으며 이를 하나의 영상에 중첩하면 다음 <그림 37>과 같은 결과를 얻을 수가 있다. 이는 정책적 지원을 위한 중요한 기초 자료로 이용될 수 있다.

<그림 37> 연구지역의 시기별 관개상태

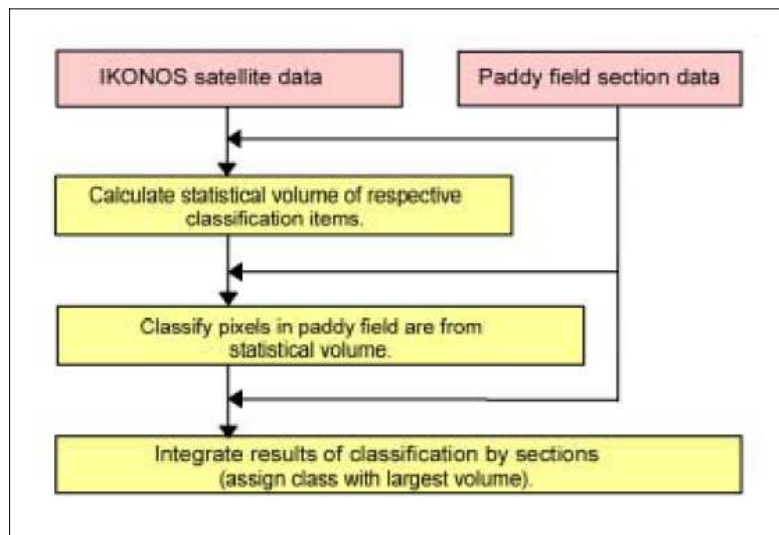


(2) IKONOS 영상을 이용한 농경지분류기법

- 시범연구지역인 후쿠지마현의 토와읍의 농경지 분류기법을 연구하기 위하여 2001년 7월 9일에 촬영된 IKONOS 영상을 취득하였다.
- 농경지의 분류를 위해 이용형태에 따라 크게 4그룹으로 분류하였

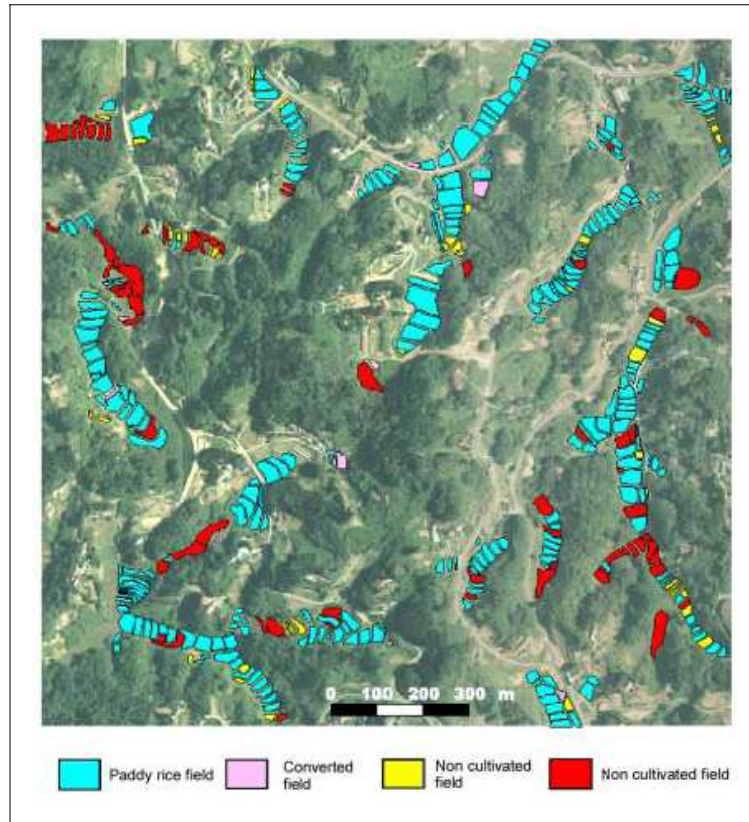
다. 먼저 논벼가 자라고 있는 논벼필지(작물생장의 중반기)와 개간지(비교적 고지대의 농지로서 주로 재배되고 있는 두류작물생장의 초반기), 그리고 휴경지와 농지로서 전혀 관리되고 있지 않은 황무지 형태의 휴경지로 각각 나누었다. 영상판독을 위해 IKONOS의 다중분광영상은 1m의 전정색 영상으로 pan sharpening되었다.

<그림 38> 농경지 이용형태 판독 절차



- 이후 수치항공사진을 참조자료로 이용하여 정밀 기하보정 하였으며 해당연구지역의 공식 통계자료를 이용해 본 연구에서 설정된 4그룹으로 나누었다. 4그룹으로 나눈 후 각 그룹의 면적 값과 영상으로 판독된 각 그룹별 픽셀에 기반 한 면적 값을 비교하였다.

<그림 39> 연구지역의 농경지이용형태



- 두 값 간의 오차행렬은 다음 <표 12>와 같다. 표를 보면 논벼재배필지와 농지로서 관리되고 있지 않은 휴경(황무)지의 경우의 정확도는 각각 96%와 80.%로 비교적 정확도가 높게 나타났다. 하지만 개간지와 휴경지의 경우 70% 이하의 정확도로 나타났다. 이로 인하여 전체정확도는 72%로 매우 낮게 나타났다(연구지역 영상 전체의 정확도는 87%임).
- 휴경지는 대부분 논으로서 소유주에 의해 다음 작물의 재배를 위

해 관리되고 있기 때문에 필지별 분광반사적 특성이 매우 불규칙하게 나타나 정확도가 매우 낮은 것으로 판단된다. 따라서 영상 관독결과 휴경지의 경우 각 필지의 현장 상황에 따라 그와 유사한 다른 그룹의 경지이용형태로 오분류 되는 경우가 많은 것으로 나타났다.

- 이 방법론으로부터 논벼재배필지와 황무지의 위치와 면적은 비교적 정확하게 산출할 수 있었다. 이는 GIS에 기반 한 경지이용정보 데이터베이스를 주기적으로 갱신하는데 용이한 방법으로 판단된다.

<표 12> 영상관독결과의 오차행렬(error matrix)

경지이용형태	영상관독결과			
	논벼재배필지	개간지	휴경지	휴경(황무)지
논벼재배필지	266	0	2	3
276(100%)	(96.4%)	(0.0)	(0.7)	(2.9)
개간지	0	7	3	1
11(100%)	(0)	(63.6)	(27.3)	(9.1)
휴경지	5	3	20	14
42(100%)	(11.9)	(7.1)	(47.6)	
휴경(황무)지	4	2	8	55
69(100%)	(5.8)	(2.9)	(11.6)	(79.7)

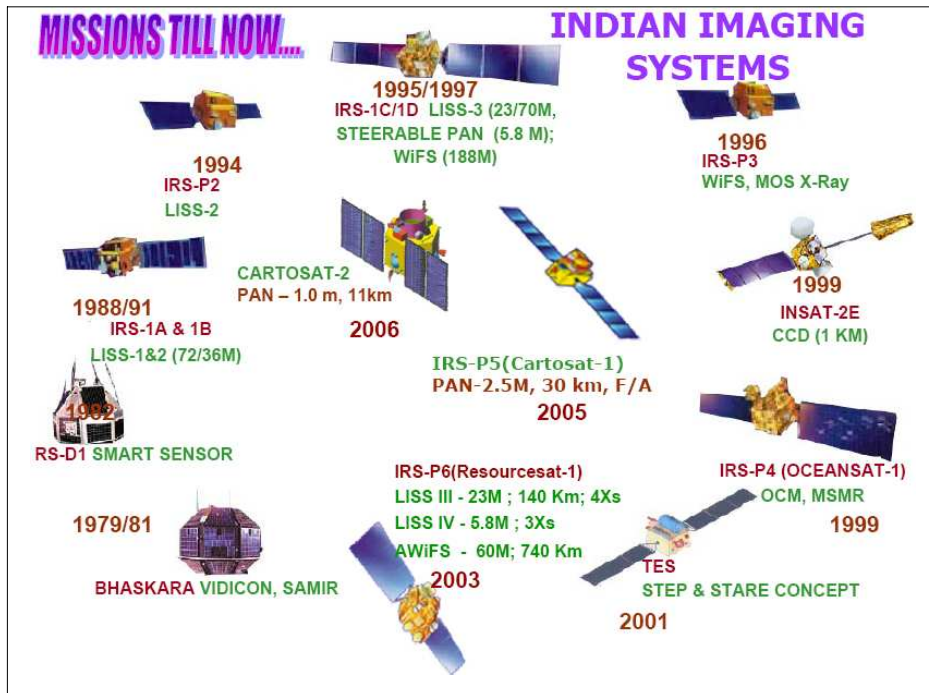
5. 인도의 농업통계분야 항공기술 응용

가. 인도 우주항공기술의 역사

- 인도의 우주 개발은 1963년 Vikram A. Sarabhai(후일 인도 우주 개발의 아버지로 불려졌음) 박사가 주도한 우주 탐사 sounding rocket의 개발 및 발사로부터 시작되었다. 고도 우주 탐사 로켓 Rohini RH-75가 발사되고, 그 후에 대형화되고 개량된 Rohini RH-125로 100km 이상의 우주 공간 탐사를 행하였다. 현재 인도는 동아시아에서 가장 많은 수의 인공위성을 보유하고 있다.
- 인도가 우주 탐사 sounding rocket의 개발에 집중한 이유를 보면, 인도 최남단의 서해안 지역에 있는 Thumba(북위 8.32도, 동경 76.51도)는 지구의 특이점으로 지자기의 적도(지구자장 NS가 평행한 지점)에 해당되어 지구 물리, 전리층 연구의 메카이기 때문이다.
- 이곳 Thumba에는 현재 유엔이 관리, 운영하는 Thumba 자기 적도 로켓 발사장(TERLS)이 있으며, 3개의 발사대로부터 미국, 러시아, 독일, 프랑스, 일본, 인도 등의 각국 우주, 전리층 탐사 sounding rocket이 발사되고 있다.

- 인도의 우주항공기술은 인도 정부 우주부(Department of Space, Government of India)의 산하 인도 우주연구사업단(Indian Space Research Organization:ISRO)의 주관하에 많은 연구와 기술개발이 이어져 왔다. ISRO의 연구개발 성과중 전세계적으로 가장 널리 이용되는 인도 고유의 지구 관측 위성프로그램이 IRS 시리즈이다.

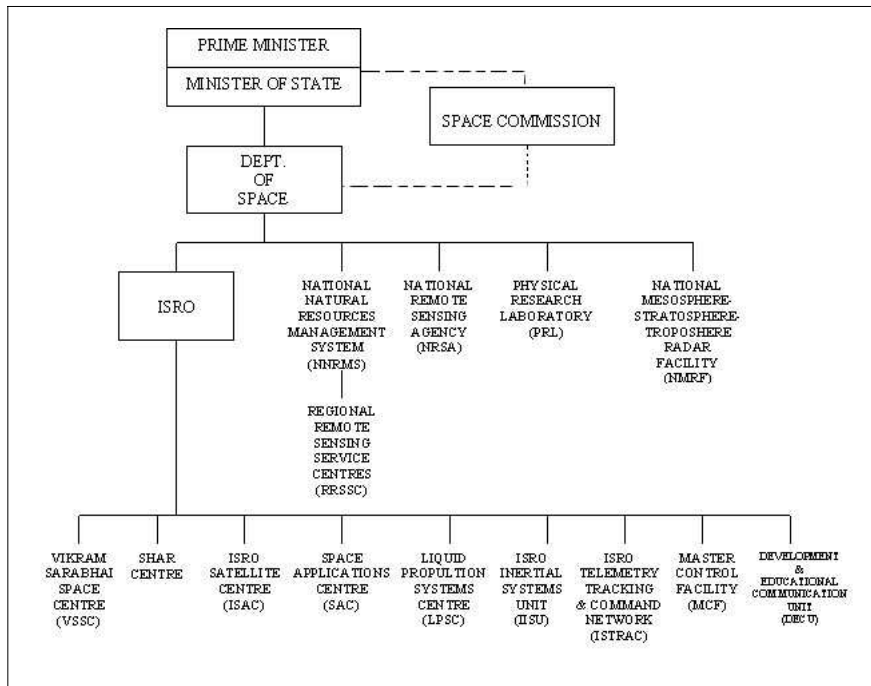
<그림 40> 인도 주요 인공위성



- 1988년 3월 IRS-1A가 발사된 이래로 현재까지 5기의 IRS(Indian Remote sensing Satellite)실용 위성이 발사되었다(그림 40). 이 위성들은 암묵적으로 10m의 해상도로 제한되어 오던 민간상업위성의 해상도를 5m로 낮추어 고해상도 상업위성의 세계를 실현시

켰다는데 의의가 있다. 또한 우주부 산하 RS와 GIS 전문 국립교육기구인 IIRS(indian Institute of Remote Sensing)를 설립하여 농업업을 비롯한 다양한 분야의 RS와 GIS응용 방법과 기술을 교육하고 있다.

<그림 41> 인도정부의 우주항공추진 조직도

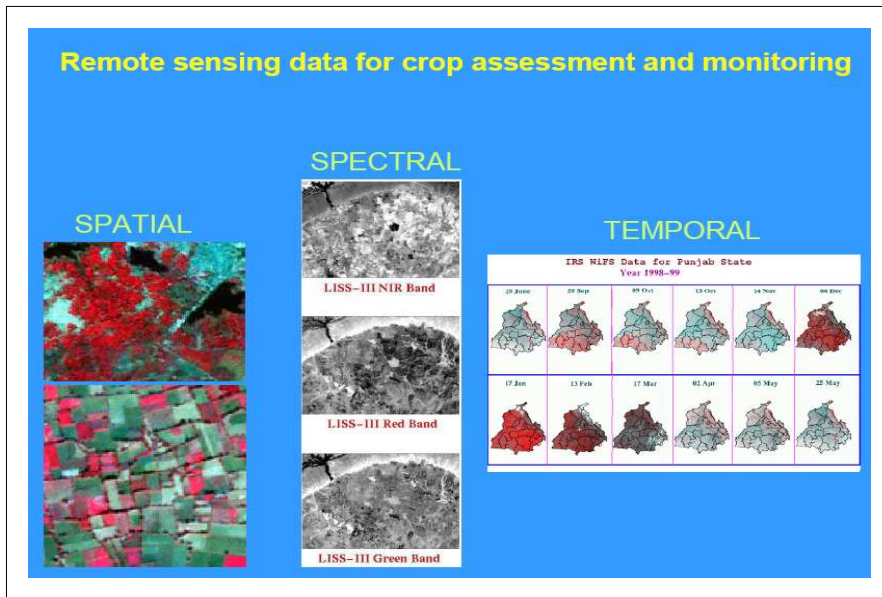


나. 인도의 농업부문 RS연구 현황

- 인도의 농업부문의 RS응용 연구는 작물식별, 작물재배면적과 수확량예측 등에 관한 연구가 인도의 주요작물에 대하여 이루어지고 있다. 하지만 작물식별 및 작물재배면적의 추정연구는 농업통

계부분의 응용부문보다는 수확량예측을 위한 필요정보로서 연구되고 있다.

<그림 42> IRS 영상을 이용한 작물 성장 관측



- 인도에서 주로 연구되고 있는 주요작물은 밀, 사탕수수, 면, 땅콩, 담배, 차 등이 있다. 주요작물의 수확 전 재배면적의 추정의 RS는 국가 농업정책의 한 분야로 자리매김하였다. 현재 복합영농지역, 원예, 조림지 등에 관한 연구도 활발히 진행되고 있다.
- 또한 인도의 기후 및 여건상 RS를 이용한 홍수 및 가뭄에 대한 농업재해에 관한 관측 등에 대한연구들이 많이 이루어지고 있다 (Kumari Gurusamy, 2007). 인도는 풍부한 자국위성을 이용해 농업부분에 이용하기 위한 다양한 관련 연구가 지속되고 있다.

제 4 장 고해상도영상을 통한 경지면적 추정실험

1. 실험지역의 선정 및 실험범위

가. 실험지역의 선정

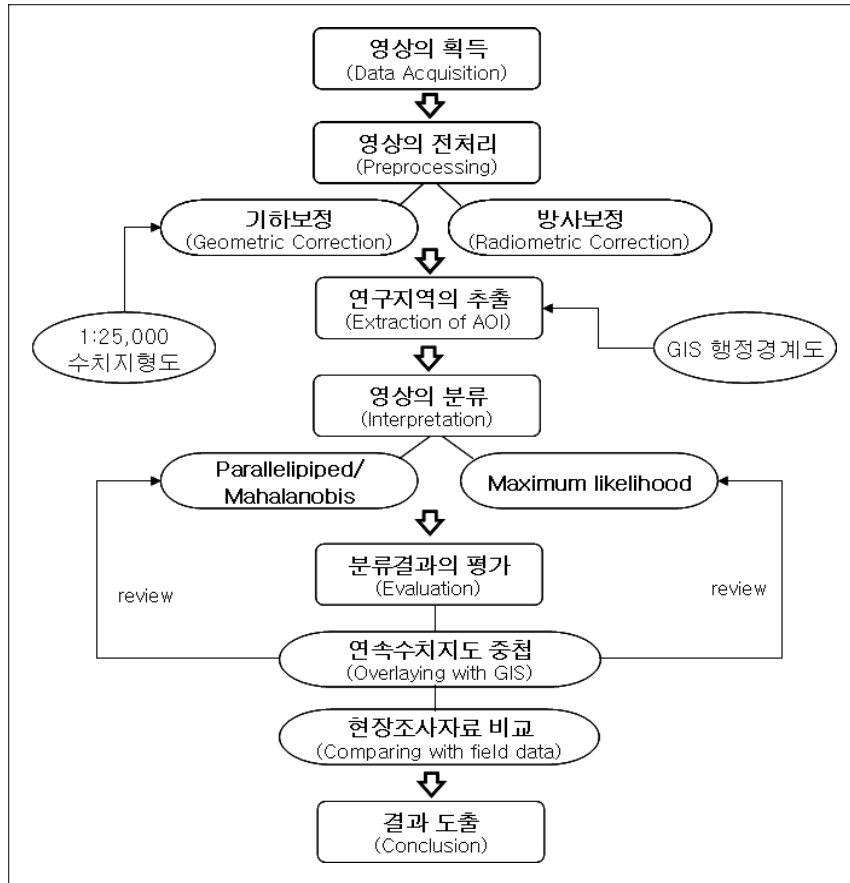
- 원격탐사연구 시 연구지역을 선정하는 데는 많은 기준들이 고려되어야 한다. 가장먼저 고려되어야 할 사항은 연구목적에 맞는 적절한 시기의 영상의 존재 유무이다. 인공위성들은 일정한 주기로 궤도를 따라 동일지역의 영상을 촬영하지만 날씨 및 센서의 오류 혹은 지표면의 상황 등의 여러 요소로 인하여 사용에 부적합한 영상도 많이 존재한다.
- 또한 연구지역에 대한 보조 자료들의 존재유무도 고려된다. 해당 지역의 연속수치지적도와 같이 연구목적에 맞는 영상의 보정 및 해석에 이용되는 다양한 참조자료의 유무 및 획득의 용이성이 고려되어야 한다.
- 연구자의 지리적 접근성도 고려되어야 하는데 원격탐사연구는 연구의 특성상 현장을 직접 방문하여 육안관측을 해야 하는 경우도 빈번하게 발생한다. 따라서 연구자가 쉽게 방문을 할 수 있는 지역일수록 좋다.

- 본 연구에서는 연구의 목적이 농경지의 면적산출이기 때문에 도심지가 나타나지 않는 농촌지역 중 최근 2007년의 최신 통계를 반영하기 위하여 2007년 영상이 있는 지역을 고려하였으며 논과 밭의 구분을 용이하게 하기 위해 논에서 수체(水體)의 특성을 탐지할 수 있는 담수기의 영상(5~6월)을 선택하였다. 또한 현장조사자료 및 기타 참조자료의 획득 용이성과 지리적 접근성 등을 고려하여 연구지역으로 경상북도 군위군 고로면의 일부 지역을 선정하였다.

나. 실험의 범위

- 원격탐사기술을 응용하여 보다 정확한 경지면적 및 작물재배면적 생산통계를 산출하기 위해서는 2시기 이상의 다중시기의 동일지역 위성영상의 확보가 바람직하다. 하지만 본 실험을 위하여 획득할 수 있는 영상의 수가 1장으로 제한되어 있어 작물재배면적은 추정할 수 없었으며 경지면적만을 실험을 통하여 추정하여보았다.
- 본 실험의 추진도는 다음 <그림 43>과 같다. 먼저 영상을 획득한 후 기하보정 및 방사보정처리를 한 후 연속수치지적도를 참조하여 훈련지역을 추출하였다. 훈련지역의 분광반사특성을 기반으로 다양한 알고리즘을 적용해 감독분류를 해 보았으며 가장 결과가 좋은 두 알고리즘을 이용하여 분류결과를 평가하였다.

<그림 43> 현장실험1의 추진도



2. 위성영상의 획득 및 처리

가. 위성영상의 획득

- 본 연구에서는 2007년 6월 12일에 촬영된 KOMPSAT-2호 영상을 이용하였다. KOMPSAT-2호는 전정색(panchromatic) 및 다중

분광(multi-spectral)영상 모두 16bit의 정보를 가지고 있으며, 공간해상도가 1m인 전정색 영상데이터는 가시광선에서 근적외선 파장대의 정보를 가지고 있으며 공간해상도가 4m인 다중분광 영상은 red, green, blue, near infrared의 4개의 밴드로 구성되어 있다.

- 보다 정확한 분석을 위하여서는 동일지역의 다른 여러 시기의 영상을 이용하는 것이 바람직하나 본 연구지역에 대한 영상 획득의 제약으로 인하여 단일 영상을 이용하였다. 영상처리 작업을 위해 수치지형도와 연속수치지적도(전자지적도)의 경우 AutoCAD Map2000i와 ArcGIS/view를 이용하였으며 위성영상은 처리는 Erdas Imagine 8.6과 PG-Steamer 4.0을 이용하였다.

나. 영상의 전처리

(1) 영상융합

- KOMPSAT-2와 같은 고해상도 영상은 높은 공간해상도의 전정색영상과 보다 낮은 공간해상도의 다중분광영상의 형태로 나뉘어져 각각의 센서에서 촬영 된다. 이들 각 밴드별 영상들을 융합하는 작업(Pan sharpening)을 실시하여 높은 공간해상도에 다양한 분광정보를 가진 단일영상을 획득할 수 있다.
- 영상융합 방식으로는 IHS변환기법, Brovey 변환기법 등 많은 기

법들이 제공되고 있으나 본 연구에서는 원래의 다중분광 데이터의 컬러 밸런스가 가능한 한 그대로 유지되는데 우수한 주성분 변환기법(principal component) 변환기법을 이용하였다.

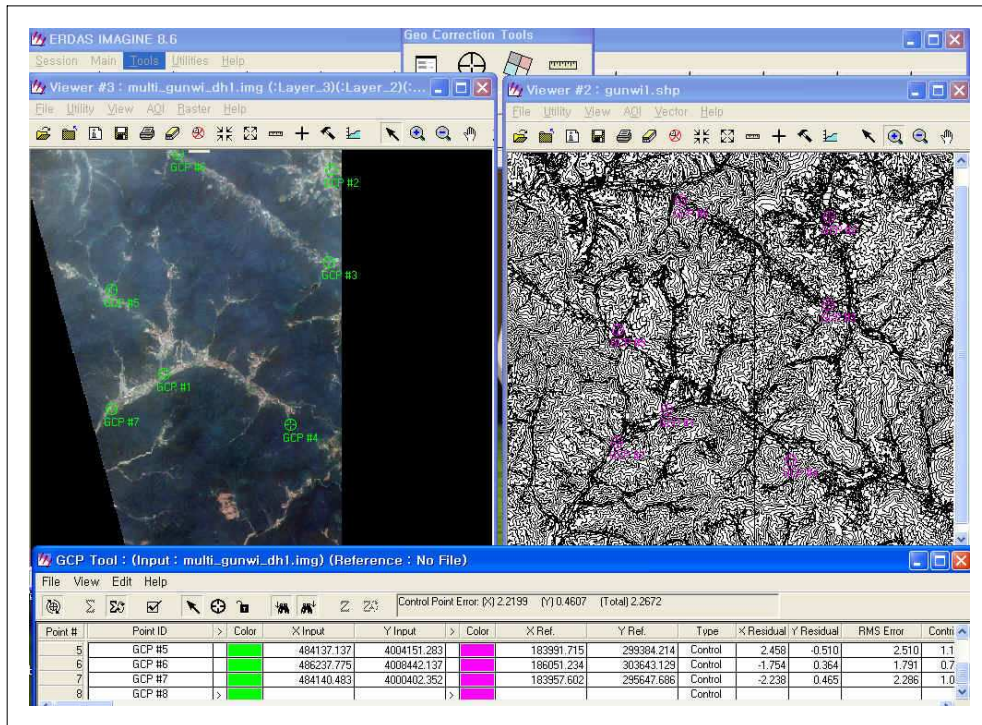
- 이 기법은 다중분광 데이터의 주성분을 분석하여 고해상도인 전정색 영상을 제 1주성분의 데이터 범위에다 맞춘 뒤에 1주성분을 고해상도밴드로 대체하고, 이어 주성분 역변환과정을 거치게 된다. 이 방법은 방사정확도가 높은 반면에 계산부하량에 따른 수행속도가 매우 느린 단점이 있다(사공호상, 2003).

(2) 기하보정

- 기하보정은 1:25,000 수치지형도에서 취득한 지상기준점(GCP)을 이용하여 영상의 인공변형을 제거하고 UTM 좌표로 Projection 되어 있는 원 영상에 동부원점을 기점으로 하는 TM좌표를 부여하여 Projection 하였다.
- 기하보정에 이용된 수치지형도는 AutoCAD를 이용하여 관련 Layer만을 추출하여 연구지역에 해당하는 지형도를 제작하였으며 이를 shape파일의 형태로 변환하여 Erdas Imagine에서 기하보정을 위한 참조자료(reference data)로 이용하였다.
- 일반적으로 고해상도 영상은 저해상도 영상에 비하여 지상 물체의 고도값에 의한 왜곡이 크게 일어나는 편이기 때문에 기하보정

과 함께 지표면의 기복에 의한 변이를 제거하여주는 정사보정작업이 요구된다. 본 연구에 이용된 원 영상의 촬영각도는 약 20°로 정사보정작업을 통하여 기복변위들을 제거하는 작업이 필요할 것으로 예상되나 해당 위성의 RPC¹⁶⁾정보의 부재로 인한 연구지역의 수치고도모형(DEM)을 획득할 수 없어 변환식(transformation algorithm)의 차수(degree)를 높여 영상의 변형이 최대한 제거되도록 하였다.

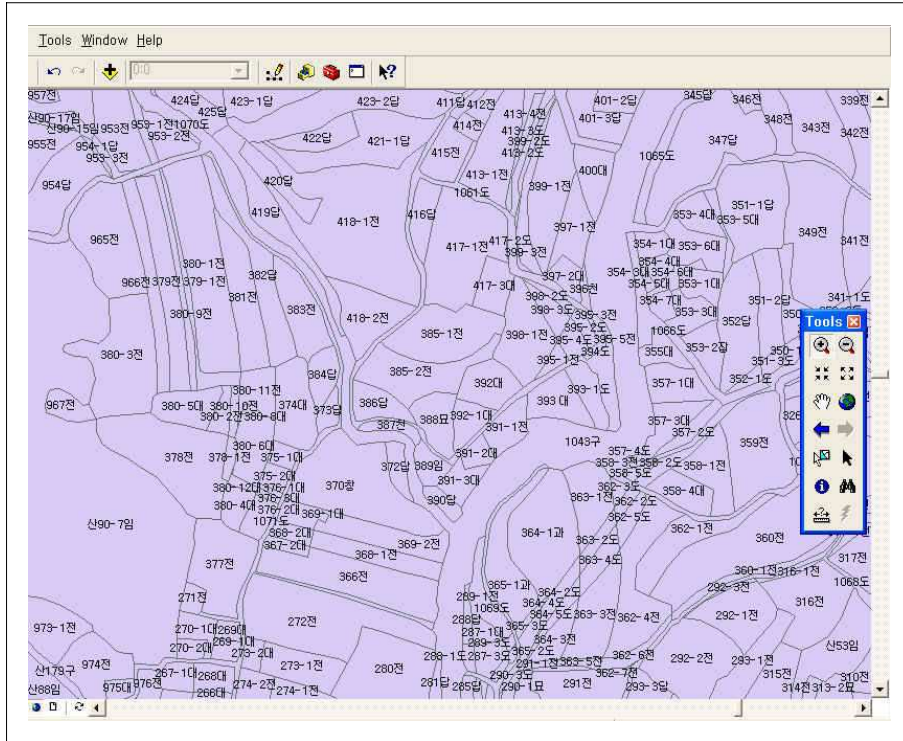
<그림 44> GCP 선정을 통한 좌표변환과정



16) RPC(Rational Polynomial Coefficient) : 사진측량에서의 내부표정요소 및 외부표정요소에 대한 정보를 담은 파일. 즉 위성영상촬영 당시의 경도, 위도, 높이의 3차원 요소를 위성영상에서의 Line과 Sample의 관계식으로 해석한 것임. 기복편위가 수정된 정사영상을 만들기 위해서는 내부표정요소와 외부표정요소 등이 필요한데 RPC파일은 이러한 표정요소에 필요한 정보를 담고 있음.

- 기하보정작업은 2차 다항변환식(polynomial transformation)을 이용하였다. 지상기준점(GCP : ground control point)은 환경 및 계절적 영향을 적게 받으며 육안으로도 비교적 정확한 지점의 식별이 가능한 도로의 교차점, 건물의 모퉁이 등의 인공구조물들로 선정하였다.
- 해당 연구지역의 영상크기가 넓지 않아 많은 수의 GCP를 선정할 때 오히려 RMS 오차값이 커지는 경향이 나타났다. 2차 다항변환식을 이용할 때 요구되는 최소 GCP는 6개이며 본 실험에서는 7개의 GCP를 선정하였을 때 RMS 오차값이 1화소 내인 0.62m로 나타나 이를 이용하였다.
- 기하보정을 수행하는 알고리즘으로는 nearest neighbor, bilinear 내삽법, cubic convolution 내삽법 등이 있으며 본 실험의 목적이 영상의 분광값에 바탕한 경지면적의 추정이므로 여러 알고리즘 중 보정 후 영상이 육안으로 볼 때 다소 거칠어 보이나 원영상의 픽셀 값이 그대로 유지되는 nearest neighbor 기법을 이용하였다.

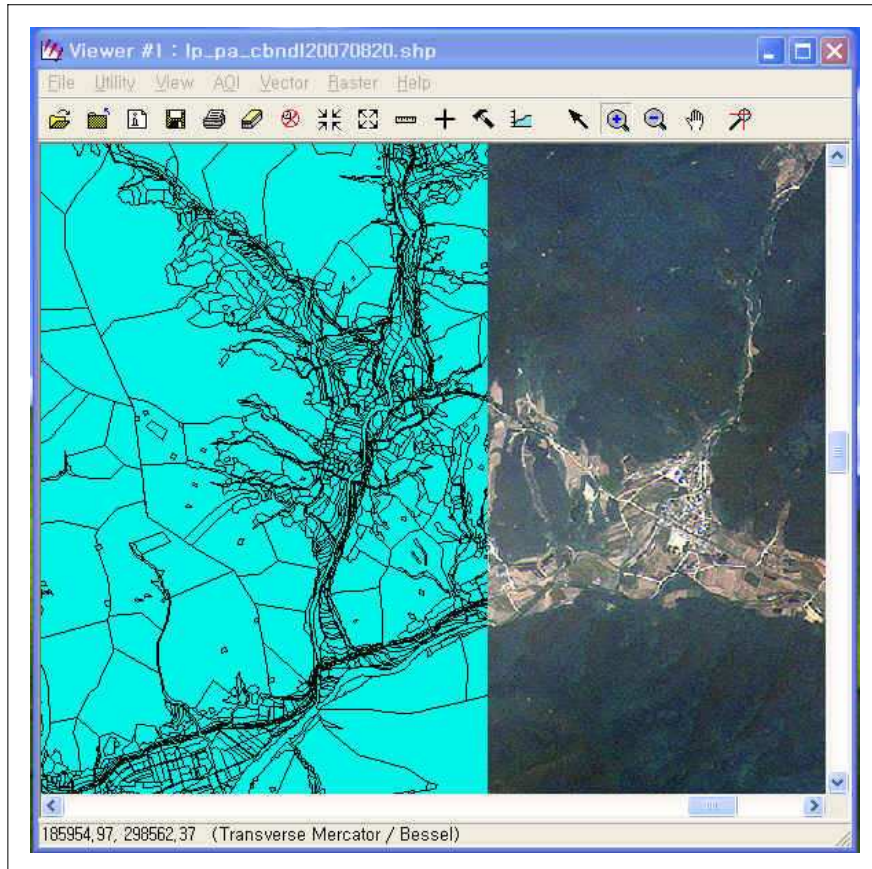
<그림 45> 연속수치지적도 화면



- 기하보정이 완료된 영상을 동일한 TM좌표값이 부여되어 있는 연속수치지적도(전자지적도)¹⁷⁾와 중첩시켜 기하보정의 정확도를 육안으로 확인하였다.

17) 연속수치지적도는 군위군의 협조를 통하여 2007년 8월 현재의 자료를 확보하였다.

<그림 46> 연속수치지적도(좌)와 영상(우)의 중첩



(3) 방사보정

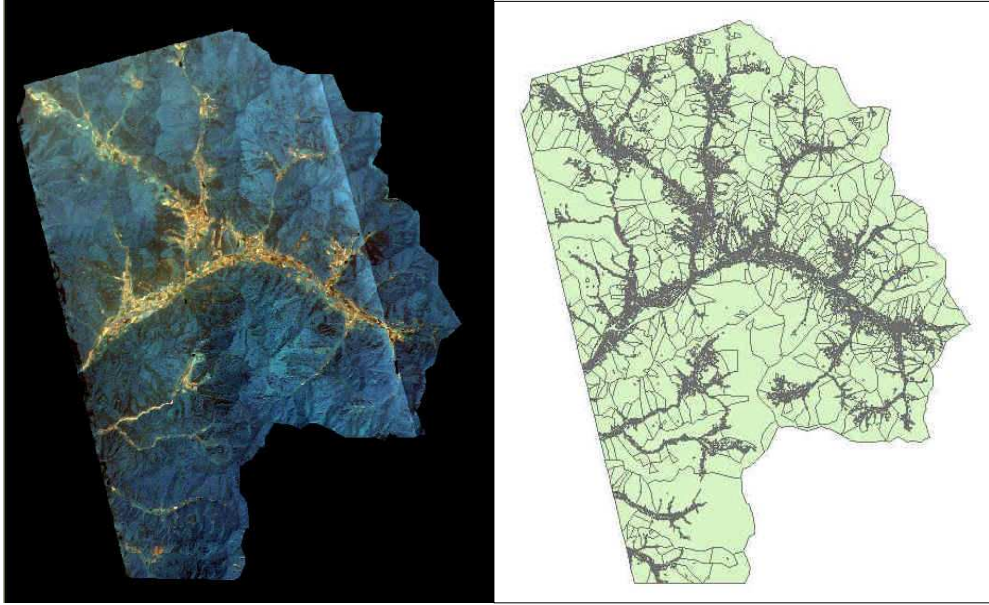
- 원격센서는 감지된 전자파를 밝기 값으로 바꿔주는 감지기(detector)를 이용하여 영상에 기록한다. 이론상 감지기는 측정치가 전자파의 강도에 따라 변하며 방사량이 0일때 측정치도 0이어야 한다. 그러나 실제 센서들은 전자파 강도와 신호 간에 어느 정도의 비선형을 가지고 있고 전자파 방사가 없을 때에도 작은 크기의 신호를 나타낼 수도 있다.

- 방사학적 왜곡은 전자파가 에너지원으로부터 센서에 도달할 때까지 통과해야 하는 전달매질인 대기 때문에 발생하고 또 측정기기의 오차와 같은 지상물체의 굴곡 때문에도 발생한다(엄정섭, 2004). 본 실험을 위해 획득된 영상은 농촌지역으로 연무의 발생 빈도가 높아 이를 제거하기 위하여 Erdas Imagins 소프트웨어를 이용해 haze deduction 처리를 한 후 이용하였다.

(4) 연구지역 추출

- 기하보정된 영상에서 군위군 고로면의 지역만 추출하기 위해 동일한 TM좌표값이 부여되어 있는 행정경계도를 shape 파일로 export한 후 이를 중첩하여 연구지역(AOI)영상으로 추출하였다.
- 또한 GIS 연속수치지도 또한 영상에 맞추어 해당지역만을 추출하였으며 추출된 영상과 수치지적도는 다음 <그림 47>과 같다.

<그림 47> 추출된 연구지역 제1영상(좌)과 연속수치지적도(우)



- 연구지역으로 추출된 군위군 고로면의 일부지역은 군위군의 전체 행정구역에서 다음 <그림 48>과 같은 위치에 있으며 면적은 약 5,903ha로 전체 군위군 행정면적 61,400ha의 약 9.6%에 해당하는 면적이다.

<그림 48> 연구지역1과 군위군 행정경계도와의 중첩



3. 감독분류 알고리즘을 이용한 영상판독

가. 영상분류 알고리즘

- 영상의 분류(classification)작업은 이미지내의 모든 픽셀을 토지피복분류와 같은 동질적 클래스에 따라 군집화(clustering)하는 것을 의미한다. 일반적으로 분류작업을 수행하는데 영상의 다중분광 데이터가 이용되며 각 픽셀내의 분광의 반사패턴값들에 따라 각 군집 혹은 클래스로 분류된다.

- 즉, 다양한 공간객체들이 가지는 고유한 분광반사(spectral reflectance)와 방사력(emittance)에 따라 다르게 나타나는 화소값(DN : Digital Number)의 여러 분광 패턴 조합에 따라 객체를 구별해 내는 방법이다.
- 이러한 분광분류(spectral classification)는 대표적으로 감독분류(supervised classification)와 무감독분류(unsupervised classification)로 나뉘어진다.

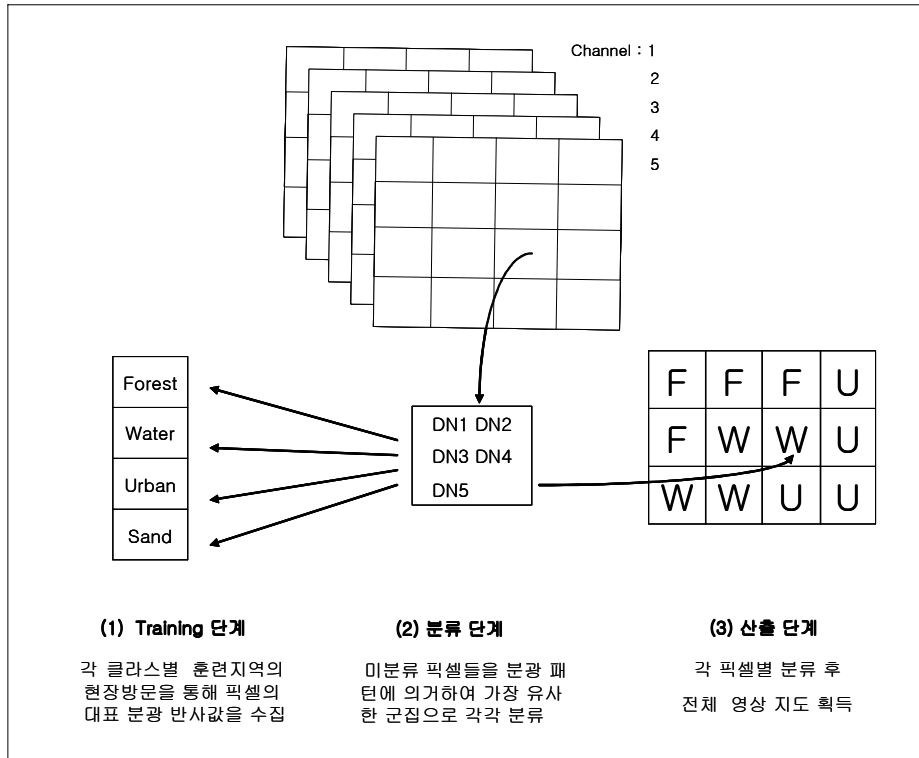
(1) 감독분류(Supervised Classification)

- 감독분류는 영상을 분류하기 전 영상분석 소프트웨어에 미리 분류하고자하는 각 클래스에 해당 클래스의 대표적 분광반사패턴의 정보를 입력하여주고 이와 비슷한 패턴을 보이는 픽셀들을 동일 클래스로 분류하도록 하는 방법이다.
- 일반적으로 각 클래스 별로 현장 확인이나 참조자료를 이용하여 훈련지역(training area)이라고 불리는 샘플지역을 추출하고 이에 대한 통계적정보(평균, 표준편차, 공분산행렬 등)를 이용하여 해당 클래스의 파라미터를 결정한 후 이를 기준으로 전체 영상의 픽셀들을 각 클래스로 분류하는 방법이다.
- 분류기법으로는 일반적으로 가장 널리 쓰이는 최대우도법(gaussian maximum likelihood classification)을 비롯하여 최소거

리분류법(minimum distance to means classification), 평행육면체
법(parallelepiped classification) 등이 있으며 어떤 훈련지역들의
정보가 추출되는가에 따라 각 분류기법들은 조금씩 다른 정확도
를 보여주고 있으며 사용되는 분류기법은 연구자의 연구 목적에
따라 달라지게 된다.

- 감독분류는 현장정보를 바탕으로 한 정확한 정보를 이용하여 유
사지역을 분류하는 것이기 때문에 그 결과가 어느 정도의 신뢰성
을 가진다. 하지만 이에 대한 시간과 인력의 소요가 많으며 얼마
나 적절하고 정확한 샘플을 선정하느냐에 따라 결과가 크게 좌우
될 수 있다.

<그림 49> 감독분류의 절차



참고 : Thomas M. LILLESAND 「Remote Sensing And Image Interpretation」

(2) 무감독분류(Unsupervised Classification)

- 무감독분류는 분류를 위한 기준으로 훈련지역(training area)을 별도로 설정하지 않고 각 픽셀들의 분광값들의 패턴에 따라 임의로 군집화하는 방법을 말한다. 즉 무감독 분류는 동일한 공간객체의 분광 값은 다른 공간객체에 대하여 배타적이며 다른 공간객체들로부터 영상내의 구별이 쉽게 가능하다는 것을 대전제로 하여 분석알고리즘을 통하여 영상안의 정보가 알려지지 않은 픽셀들을 검토하고 영상값에 따라 수많은 클래스로 총합하는 과정을 거친다.

- 무감독분류는 주로 영상의 상태 혹은 현장정보 등에 제약이 있어 감독분류를 실시하기 어려운 상황에서 이용되는데 분석자의 주관이나 편견이 들어가지 않고 영상 자체 내의 분광정보에 의해서만 분류를 실시하기 때문에 비교적 객관적이고 예상하지 못했던 결과를 도출할 수 있다는 장점이 있으나 특정 연구 목적에 맞는 분류작업을 시행하기에는 적절하지 못하다고 볼 수 있다.
- 영상의 데이터 셋으로부터 자연분광값들을 군집화 하는데는 수많은 방법들이 개발되었으나 가장 널리 쓰이는 방법은 앞서 살펴보았던 ISODATA와 K-means 알고리즘(Dusa and Hart, 1973)이다. 이 방법은 분석자가 일단 분류해야 할 객체의 수를 지정하여 주면 영상분석 소프트웨어는 할당된 공간객체의 수에 의거하여 각 픽셀들은 임의의 평균 벡터값들이 가장 가까운 집단끼리 군집화 된다.
- 모든 픽셀들이 군집화 되고 난 후 분류결과를 참조하여 임의의 평균벡터들을 조정하여 재분류를 실시해 보는 작업을 반복하여 봄으로써 만족할 만한 분류결과가 나타나는지를 검토한다.

나. 영상판독과 경지면적의 추정

- 다양한 감독분류 알고리즘을 이용하여 연구지역의 영상의 논과 밭의 경지면적을 추정하여 보았다. 추정된 결과값은 크게 두 단

계를 통하여 정확도를 검증하였다. 먼저 영상판독을 통하여 추정된 논 및 밭의 경지면적 값을 해당지역의 연속수치지적도상의 값과 비교하였다.

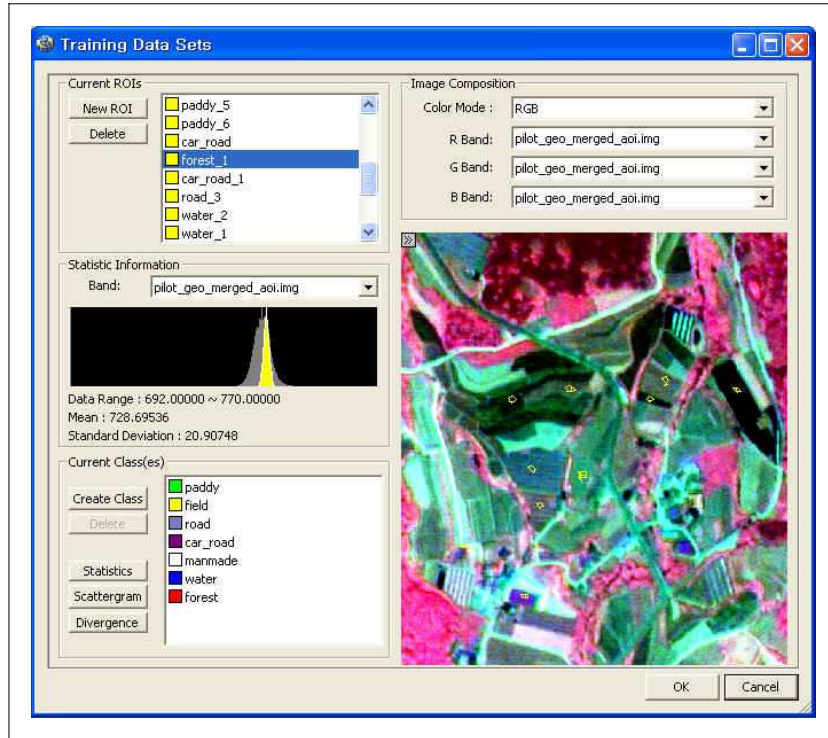
- 연속수치지적도는 1980년부터 행정자치부에서 지적도의 데이터베이스화 사업의 결과로 구축되어 왔으며 현재 국가지리정보체계구축사업(NGIS : National Geographic Information System)의 일환으로 수치지형도 및 기타 지리정보들과의 정보의 공유 및 공간정보의 활용을 위해 지속적으로 개선되어 가고 있다.
- 연속수치지적도는 일반적으로 기준점, 축척, 좌표계, 필지의 경계선 등이 지형도와 불일치하는 경우가 많다(강준목 외, 2003). 또한 실시간으로 일어나는 필지들의 용도변경을 즉각적으로 반영하지 못하고 있다.
- 하지만 생산되는 행정통계가 최소 시·군단위로 공표되고 있어 본 연구 실험지역의 행정통계를 구할 수 없으며 또한 위성영상과의 중첩을 통하여 각 필지별 현황을 시각적으로 확인할 수 있고 비교결과에 따른 구체적 통계값을 도출할 수 있기에 연속수치지적도를 영상판독결과의 1차 검증자료로 사용하였다.
- 이렇게 1차적으로 연속수치지적도와 비교결과, 일치도가 높게 나타나는 결과들을 중심으로 영상촬영시기에 실시된 면적표본조사 결과와 비교하여 영상판독 결과를 평가하였다. 본 연구에서

연속수치지도상의 경지면적의 값과 가장 유사하게 나타난 감독 분류 알고리즘은 평행육면체법과 Mahalanobis거리법을 병행한 방법과 최대우도법으로 나타났으며 이 두 가지 방법론에 의한 결과에 대하여 2차 정확도 평가를 실시하였다.

(1) 감독분류를 위한 훈련지역(Training Area)의 선정

- 감독분류를 수행하기 위한 우선적 작업단계는 분류하고자하는 필지를 클래스로 구분한 후 각 클래스를 대표할 수 있는 훈련지역을 선정하는 과정이다. 본 연구에서는 연속수치지도상에서 대표적으로 논과 밭의 좌표를 취득한 후 영상에서 주변지역과의 연계성 혹은 현장 피복 상태 등을 고려하여 선정한 후 취득 훈련지역의 통계적 타당성 평가를 실시하였다.
- 앞서 설명한대로 감독분류의 기본적인 원리는 훈련지역의 평균이나 공분산 등의 통계적 특징을 기본으로 하여 여타 화소들을 특정 클래스로 분류하는 것이다. 따라서 훈련지역은 각 클래스의 특징을 대변할 수 있는 통계적 특성을 가지고 있어야 하며 기본적으로 가우시안 분포를 보여야 한다.
- 또한 각 클래스들의 추출된 훈련지역간에 분리도(separability)가 높아야지만 전체 분류 정확도가 높게 나타난다. 이와 같은 훈련지역의 타당성 기준들을 이용하여 분류작업에 적합한 훈련지역들을 추출하였다.

<그림 50> 통계적특성에 기반 한 훈련지역의 선정



- 각 클래스 별로 다수의 훈련지역을 추출하여 통계적 특성과 분리도의 측면에서 양호한 형태를 보이는 조합을 선정하였으며 클래스별로 너무 많은 훈련지역을 추출할 시 오히려 판독 능력의 저하를 가져와 최종적으로 논에 대하여 7개, 밭에 대하여 4개의 지점을 선정하였다.
- 또한 산림, 도로, 수역, 인공구조물 등의 비경지로 이용되는 지점들에 대하여 총 14개의 샘플지역을 추출한 후 분류과정을 단순화시켜 분류정확도를 높이기 위해 이를 기타의 항목으로 묶어 처리하였다.

- 샘플들간의 분리도는 주로 Transformed divergence와 Jeffries and Matusita Distence의 값으로 측정되는데 선정된 각 클래스별 훈련지역들의 분광값은 다음 <표 13>과 같이 분리도가 매우 높게 나타났다.

<표 13> 분리도 검정 매트릭스

transformed divergence			
class	논	밭	기타
논	0.00	949.96	2000.00
밭	949.96	0.00	1899.66
기타	2000.00	1899.66	0.00

Jeffries and Matusita Distence			
class	논	밭	기타
논	0.00	669.30	1413.71
밭	669.30	0.00	1393.49
기타	1413.71	1393.49	0.00

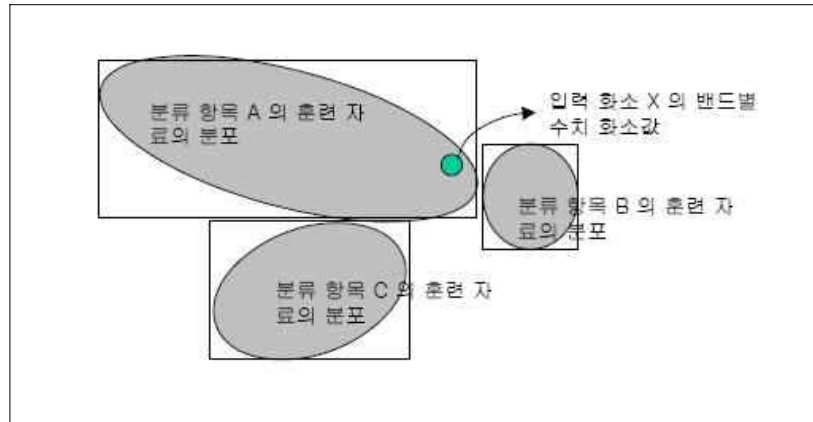
(2) 영상판독

- 본 연구에서는 최대우도법(Maximum Likelihood Classifier)을 비롯하여 평행사변형법(Parallelipiped Classifier), Mahalanois거리법, 최소거리법(Minimum Distance Classifier) 등의 다양한 알고리즘을 이용하여 감독분류를 실시하였으며 매개변수법과 비매개변수

법을 병행하면서 분류작업을 실시하였다.

- 분류결과에 따른 경지의 총면적이 연속수치지적도상의 경지의 총면적값과 가장 근사하게 나타난 방법은 평행사변형법을 이용한 비매개변수법과 Mahalanois 거리법을 이용한 매개변수법을 혼합한 방법과 비매개변수법을 이용하지 않고 최대우도법만을 이용한 방법의 순으로 나타났다.
- 평행사변형법은 입력화소의 분광의 거리와 함께 분광의 분포양상을 고려하는 알고리즘 중 가장 단순한 방법으로서 훈련자료의 밴드별 평균값과 표준편차를 이용하여 분류클래스별 영역을 설정한 후에 입력화소의 해당 클래스를 규정하는 방법이다.
- 즉 다음 <그림 51>과 같이 입력화소 X의 분광거리는 B클래스와 중심거리가 가깝지만 A클래스의 분포를 고려한 평행사변형의 범주에 속함으로써 A클래스로 분류되게 된다.

<그림 51> 평행사변형법의 분류알고리즘



* 출처 : www.pixoneer.co.kr 「PG-Steamer tutorial」

- Mahalanonis 거리법은 미분류화소의 분광거리와 함께 훈련자료의 분포양상을 반영하기 위해 공분산행렬을 이용하게 된다.

$$D_i = (X - \mu_i)^T C_i^{-1} (X - \mu_i)$$

D_i 는 입력 화소의 분류 항목 i 까지의 Mahalanobis 거리

X 는 입력 화소 벡터(밴드별 수치 화소값 행렬)

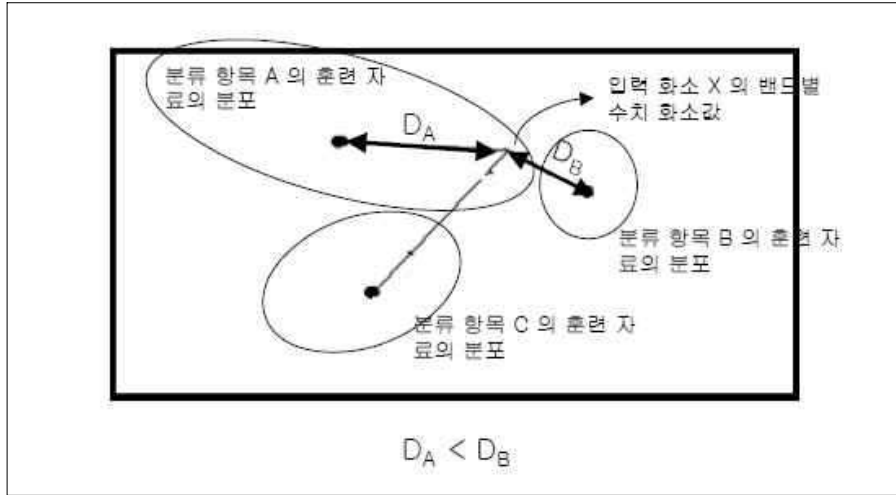
C_i 는 분류 항목 i 의 훈련 자료에 대한 공분산 행렬

μ_i 는 분류 항목 i 의 훈련 자료에 대한 평균값 벡터

I 는 전치 행렬을 의미함

- 다음 <그림 52>에서 입력 화소 X 는 단순거리는 B클래스에 가깝지만 공분산행렬이 고려된 A클래스의 분포영역에 포함됨으로써 A클래스로 분류되게 된다.

<그림 52> Mahalanonis거리법의 분류 알고리즘



* 출처 : www.pixoneer.co.kr 「PG-Steamer tutorial」

- 최대우도법은 정규분포를 기반으로 한 확률밀도함수에 의한 통계적 분류방법 중에서 가장 높은 정확도를 가진 것으로 알려져 있다. 취득된 훈련지역의 분광특성이 정규분포의 형태를 가지고 있다면 매우 높은 분류정확도를 기대할 수 있는 기법이다. 이 방법론의 우도(likelihood)는 다음과 같이 구해진다.

$$D_i = \ln(a_i) - 0.5 \ln(|C_i|) - 0.5 (X - \mu_i)^T C_i^{-1} (X - \mu_i)$$

D_i 는 입력 화소의 분류 항목 i 까지의 Likelihood

X 는 입력 화소 벡터(밴드별 수치 화소값 행렬)

C_i 는 분류 항목 i 의 훈련 자료에 대한 공분산 행렬

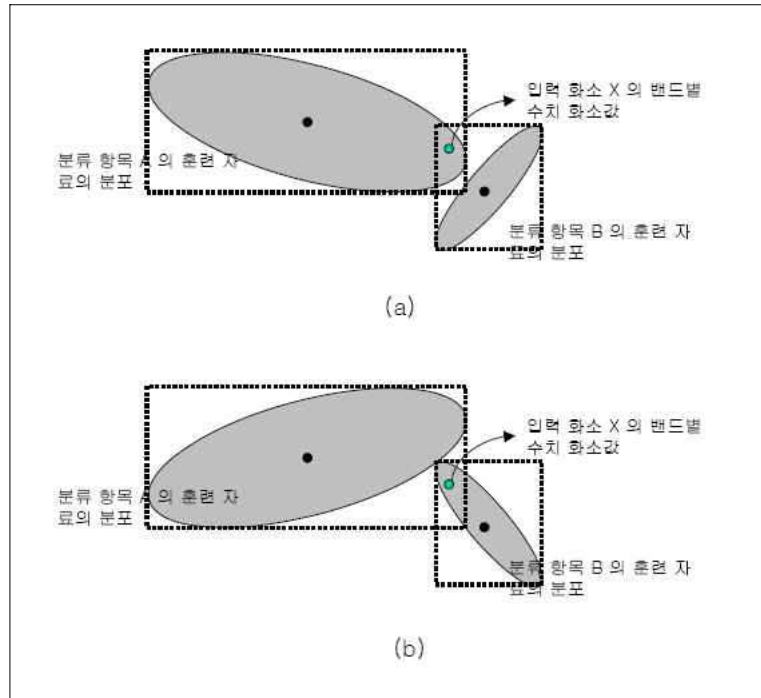
μ_i 는 분류 항목 i 의 훈련 자료에 대한 평균값 벡터

I 는 전치 행렬을 의미함

a_i 는 사전 확률(Priori Probability)로서 사전 확률을 사용하지 않는 경우 1.0 이 된다.

- 다음 <그림 53>에서 보면 각 훈련자료 A와 B의 경우 평균과 분산값이 동일하나 그 방향은 다르게 나타나고 있다. 최대우도법은 훈련자료의 평균과 분산값 뿐만 아니라 그 분포방향까지도 고려함으로써 (a)의 경우는 A클래스로 분류하고 (b)의 경우는 B클래스로 분류하게 된다.

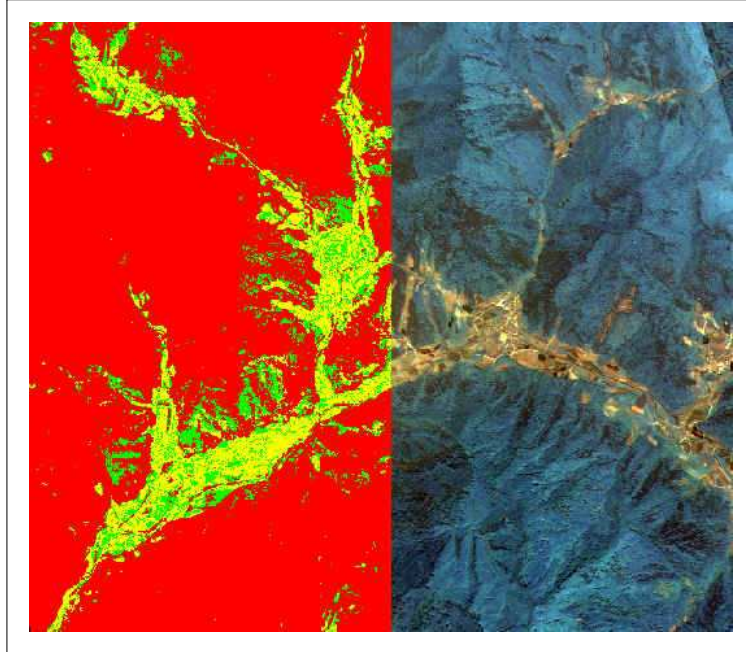
<그림 53> 최대우도법의 분류알고리즘



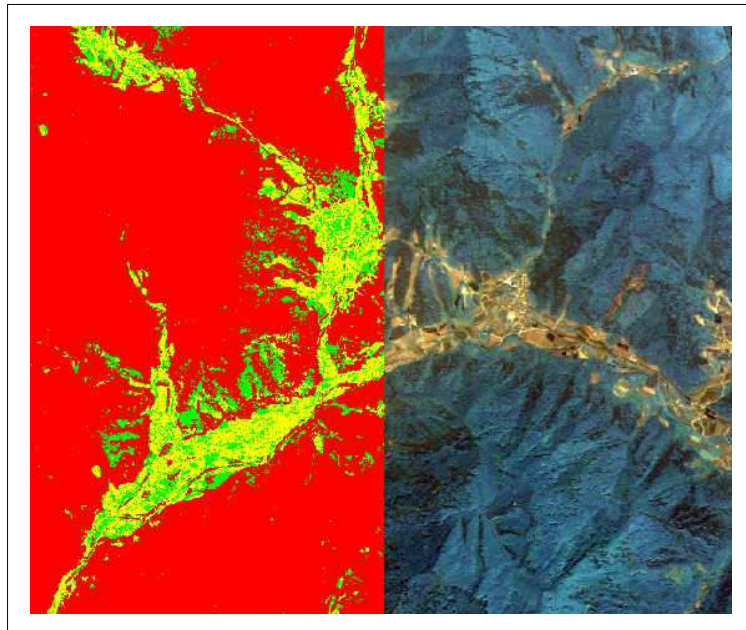
*출처 : www.pixoneer.co.kr 「PG-Steamer tutorial」

- 평행사변형법과 Mahalanonis 거리법을 함께 적용한 분류와 최대우도법을 적용하여 분류한 연구지역 분류결과와 원 영상이 중첩되어 있는 그림이 다음 <그림 54>와 <그림 55>에 각각 나타나 있다.

<그림 54> 평행사변형/Mahalanonis 적용 분류
결과

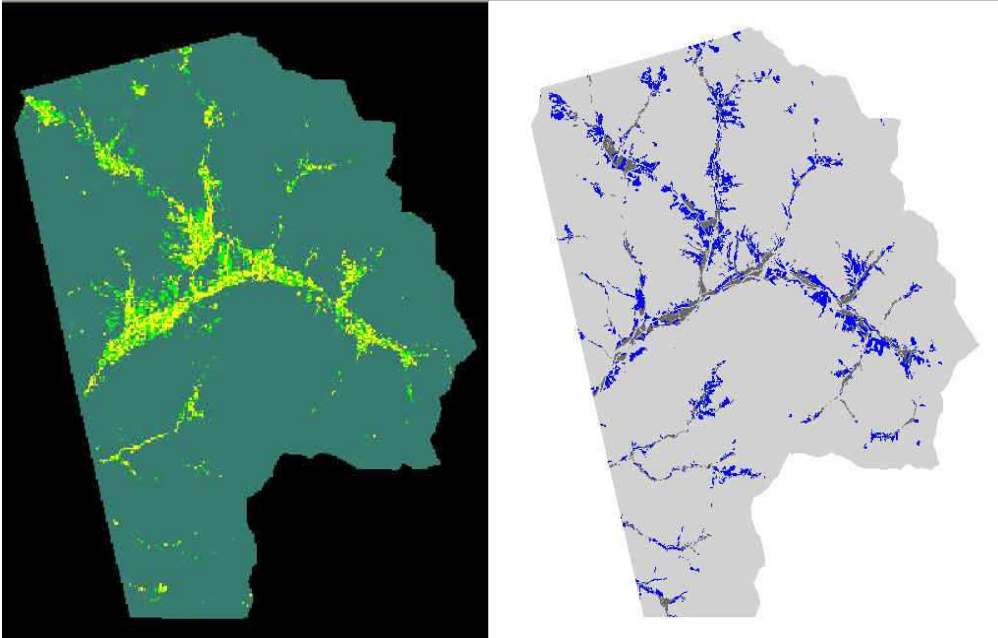


<그림 55> 최대우도법 적용 분류결과



- 분류방법별로 추정된 논과 밭의 경지면적의 정확도를 평가하기 위하여 실험지역의 연속수치지적도상의 논과 밭의 경지면적을 각각 추출하였다.
- 연속수치지도는 기본적으로 shape형식의 벡터구조로 이루어져 있기 때문에 벡터형식에서 나타나는 각 클래스별 경지면적과 래스터구조에 기반한 영상 분류결과의 면적값을 직접 비교하는 것은 구조의 형식에서 오는 오차를 유발할 수 있게 된다. 따라서 벡터형식의 연속수치지도를 Arcview GIS에서 실험에 이용된 KOMPSAT-2영상과 동일한 공간해상도(1m)의 래스터구조를 가진 grid형식의 파일로 변환한 후 각 면적값을 비교하였다.
- 변환 후 시각적 판독의 용이성을 위하여 논과 밭의 필지를 별도의 색으로 디스플레이 하였으며 다음 <그림 56>에 나타나 있다.

<그림 56> 최대우도법 분류결과(좌)와 연속수치지적도
경지면적현황(우)



4. 결과의 평가

가. 연속수치지적도에 의거한 결과 평가

- 레스터 구조의 grid 형식의 파일로 변환된 실험지역 연속수치지적도 상에서 나타나있는 전체 총경지면적은 479.29ha 이며 이중 논
의 경지면적이 320.60ha이며 밭이 158.69ha로 나타났다. 평행사변
형법과 Mahalanonis 거리법을 혼합사용한 방법의 경우 전체 경
지면적이 454.13ha로 추정되었으며 이중 논면적은 257.79ha로 분

류되었으며 밭의 면적은 196.34ha로 분류되었다. 최대우도법을 이용한 분류결과 전체 경지면적은 451.24ha로 나타났고 논면적이 252.05ha, 밭면적이 199.19ha로 나타났다(표 14).

<표 14> 감독분류결과와 연속수치지도 값과의 비교
(단위 : ha)

	연속수치지도 (A)	평행사변형/ Mahalanonis (C)	(C)/(A) ·100	최대우도법 (B)	(B)/(A) ·100
논 면적	320.60	257.79	80.40%	252.05	78.61%
밭 면적	158.69	196.34	123.72%	199.19	125.52%
총 경지면적	479.29	454.13	94.75%	451.24	94.14%

- 즉, 연속수치지적도의 자료가 현장정보를 정확하게 반영하였고 이후 경지의 전용이나 면적의 변화가 없다는 가정 하에 분류정확도를 평가해 보면 경지와 비경지를 구분하는 데는 두 방법 모두 94%이상의 높은 분류정확도를 보였다. 하지만 전체 경지면적 내의 논과 밭의 경지면적은 논 면적은 과소평가 되고 밭 면적은 과대평가되어 나타났다.
- 이는 영상의 촬영시기가 6월로서 논인 경우 담수상태의 정도여부에 따라 수체(水體)의 반사특성이 강한 필지의 경우는 논면적으로 분류되었으나 작물의 성장 상태가 매우 왕성하거나 휴경지 혹은 용도 전환으로 인해 수체의 반사특성이 낮게 나타나거나 전혀

나타나지 않은 논외 경우는 밭으로 분류된 것으로 추측된다. 오 분류된 지역의 현장 상태와 분류결과에 대한 보다 정확한 평가를 위하여 영상촬영시기에 실시된 제 3회 작물재배면적조사자료¹⁸⁾를 바탕으로 하여 2차 정확도 평가를 실시하였다.

나. 현장조사 결과에 의한 분류결과평가

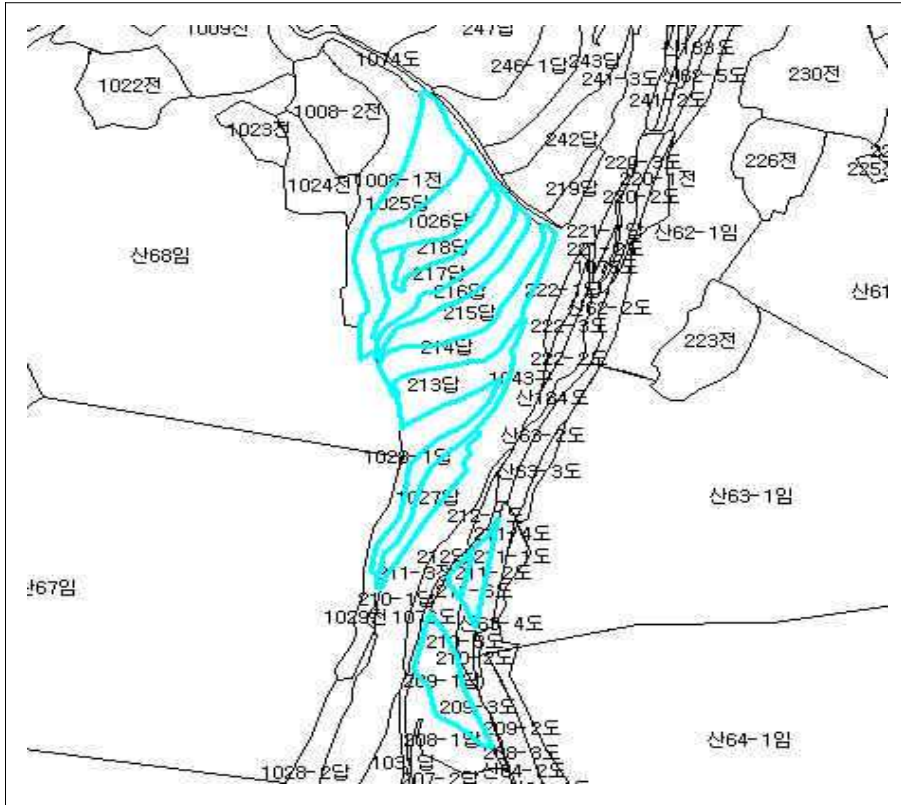
- 감독분류에 의한 위성영상 판독결과의 정확성을 평가하기 위한 일반적인 방법은 무작위 혹은 검증이 요구되는 여러 지점에 대하여 GPS를 이용해 현장 방문을 하거나 토지 피복도 및 관련 참조 자료를 영상분류결과와 비교함으로써 이루어진다.
- 현장조사 및 참조자료는 영상의 촬영시기 및 연구목적에 고려하여 결정되며 분류결과와의 비교를 통하여 각 클래스별 정확도, 생산자-사용자 정확도 및 전체정확도(overall accuracy)를 계산하고 전체정확도에서 우연히 옳게 분류될 수 있는 가능성을 배제한 Kappa-statistic을 구하기도 한다.
- 본 연구에서는 분류정확도를 평가하기 위한 참조자료로 농산물품질관리원에서 매시기 실시하고 있는 작물재배면적 조사결과를 이용하였다. 작물재배면적 조사표를 이용하면 영상이 촬영된 당시의 가장 정확한 현장 자료를 이용할 수 있으며 당시의 개별 필지

18) 국립농산물품질관리원 군위출장소의 협조를 얻어 실험지역의 2007년 제3회 작물재배면적조사표를 이용하였다.

의 이용형태나 재배작물의 파종상태 등이 구체적으로 기술되어 있기 때문에 매우 정확한 정보를 이용할 수 있다.

- 본 연구에서는 영상촬영시기(2007.6.12)와 가장 근접한 시기인 동년 7월에 실시된 군위군 고로면의 제3회 작물재배면적 조사 결과를 이용하였다. <그림 57>는 GIS 상에서 구현된 연속수치지적도의 화면이며 굵게 나타난 부분이 표본단위구와 해당 단위구내의 필지들이다.
- 먼저 연구지역에 속한 표본 단위구는 14개였으며 여기에 속한 총 132개의 필지를 비교대상으로 하였다. 먼저 연속수치지적도를 이용하여 해당 필지의 중심좌표값을 취득한 후 분류 후 영상에서 해당필지의 좌표값을 찾아 분류결과와 작물재배면적조사표상의 일치 여부를 확인하였다.
- 대장상에 나타난 전체 132개의 필지 중 논은 49개, 밭은 83개로 해당 표본단위구 내에서는 밭의 개수가 월등히 많았다.

<그림 57> 연속수치지적도를 이용한 단위구 좌표취득



- 각 분류 방법별 정확도 검증을 위한 간이오차행렬(error matrix)¹⁹⁾과 사용자 및 생산자 정확도²⁰⁾는 다음 <표 15, 16>과 같이 정리된다.

19) 분류정확도 검증을 위한 참조자료에 기타 항목에 대한 준거도 준비되어야 각 항목에 대한 정확한 사용자정확도 및 전체 정확도가 생산될 수 있으나 작물재배면적은 경지면적에 대하여만 조사됨으로 인하여 비경지에 대한 검증자료는 배제되어 간이식으로 작성하였음.

20) 전통적 절차에 의하면 오차행렬을 작성한 후 우연의 일치로 잘못 분류됨으로써 다른 클래스의 정확도를 높여주는 확률을 배제한 정확도인 Kappa 계수를 구하여 분류의 정확성을 검증하게 된다. 하지만 본 연구에서는 비경지에 대한 검증 지점이 없음으로 인해 통상적인 방법으로는 정확도를 구할 수 없었으며 단순히 경지면적 내에서 논과 밭의 판독 여부에 대한 정확도를 계산하였다.

<표 15> 적용 알고리즘별 오차행렬

평행사변형/Mahalanonis 적용 결과 오차행렬					
class	논	밭	비경지	합계	생산자 정확도
논	30	14	-	44	68.18%
밭	10	55	-	65	84.72%
비경지	9	14	-	-	-
합계	49	83	-	-	-
사용자 정확도	61.22%	66.27%	-	-	-

최대우도법 적용 결과 오차행렬

class	논	밭	비경지	합계	생산자 정확도
논	32	13	-	45	71.11%
밭	13	65	-	78	83.33%
비경지	4	5	-	-	-
합계	49	83	-	-	-
사용자 정확도	65.30%	78.31%	-	-	-

<표 16> 전체 정확도(overall accuracy)

	평행사변형/마하라노비스	최대우도법
전체정확도	64.39%	74.38%

<표 17> 생산자정확도

	평행사변형/Mahalanobis	최대우도법
논분류 정확도	61.22%	65.31%
밭분류 정확도	66.27%	78.31%

- 연속수치지도상에 나타난 전체 경지 면적과 비교하였을 때는 평행사변형/Mahalanobis거리법이 최대우도법보다 다소 높은 정확도를 보였으나 표본단위구의 현장조사표상에 나타난 논밭현황에 의거한 판독일치여부는 최대우도법이 더 높게 나타났다²¹⁾.
- 영상판독시 논과 밭의 구분 여부는 논이 담수상태에서 나타나는 수체의 특성에 많이 의존되게 된다. 따라서 수체의 특성이 나타나지 않는 논인 경우 밭으로 분류될 수 있으며 경지가 용도전환중이거나 재배작목의 특성에 따라 수체의 특성이 나타나는 경우는 밭 혹은 비경지의 경우도 논으로 오분류 될 수 있다.
- 논벼가 재배되고 있는 논인 경우 수체의 특성이 가장 왕성히 나타나며 작물자체의 고유분광값도 함께 나타남으로써 논으로의 분류가 용이하며 타작물에 비하여 논벼에 대한 재배면적의 추정도 매우 용이하다(홍석영, 2001).
- 본 연구에서 검증자료로 이용된 표본단위구 내의 논 49개의 필지

21) 현장에서는 논과 밭에 대한 경지의 용도전환이 매우 빈번하게 발생하며 GIS DB의 형태로 구축되어 있는 연구지역의 연속수치지도상의 정보와 표본단위구에 나타난 실제 경지용도와 일치도는 80%로 나타났다.

가운데 영상촬영시기에 논벼가 재배되고 있던 필지는 21개였으며 이 중에 평행사변형/Mahalanobis거리법은 17개, 최대우도법은 18개의 필지를 논으로 분류하여 각각 80.95%, 85.71%의 분류정확도를 보였다.

- 비록 적은 수의 검증 샘플이지만 비교적 분광해상도가 낮은 고해상도 영상의 단일시기 영상만으로 분류한 결과로서는 높은 정확도라고 볼 수 있으며 이는 다중시기의 KOMSAT-2호 영상으로 벼의 재배면적을 추정하는 연구도 가능할 것임을 시사한다고 할 수 있다.

<표 18> 논벼 판독 여부

	평행사변형/마하라노비스	최대우도법
논벼재배 필지 개수	21	
논으로 판독된 필지개수	17	18
분류 정확도	80.95%	85.71%

- 동시기에 조사된 작물재배면적조사표를 참고하여 조사대장상에 명기된 논과 밭의 현황과 다르게 오분류된 지점들의 현장조사기록과 비교하여 보았다(표 19). 경지이용 형태는 조사표상에 나타난 기록을 기준으로 논벼, 기타작물(논벼이외), 재배준비, 휴경지 등의 4가지의 범주로 나누었다.

- 두 분류방법론 모두 비슷한 오분류 패턴을 보이고 있다. 논을 밭으로 오분류한 경우는 필지가 재배준비 중이거나 휴경지일 경우가 높게 나타났으며 논벼를 밭으로 오분류한 경우도 나타났다. 논을 비경지로 오분류한 경우는 해당 필지가 휴경지로서 경지의 특성을 갖지 못한 경우로 나타났다.
- 밭을 논으로 오분류한 경우는 재배준비 중, 기타작물의 순으로 나타났다으며 밭을 비경지로 오분류한 경우는 재배준비 중, 기타작물, 휴경지의 순으로 나타났다.

<표 19> 오차지점의 현장확인표

평행사변형/Mahalanobis거리법			최대우도법		
오류형태	현장 이용현황		오류형태	현장 이용현황	
	순위	개수		순위	개수
논을 밭으로 분류	재배준비	4	논을 밭으로 분류	휴경지	4
	논벼	3		재배준비	4
	기타작물	2		논벼	4
	휴경지	1		기타작물	1
논을 비경지로 분류	순위	개수	논을 비경지로 분류	순위	개수
	휴경지	7		휴경지	2
	재배준비	1		기타작물	1
	기타작물	1		재배준비	1
	논벼	0		논벼	0
밭을 논으로 분류	순위	개수	밭을 논으로 분류	순위	개수
	재배준비	7		재배준비	6
	기타작물	5		기타작물	5
	휴경지	2		휴경지	2
	논벼	0		논벼	0
밭을 비경지로 분류	순위	개수	밭을 비경지로 분류	순위	개수
	재배준비	6		휴경지	2
	기타작물	6		기타작물	2
	휴경지	2		재배준비	1
	논벼	0		논벼	0

제 5 장 고해상도영상을 이용한 벼재배면적추정

1. 실험지역의 선정 및 실험범위

가. 영상 시기의 선정

- 본 실험에서는 경지의 증화가능성을 탐지하기위한 접근이므로 작물이 만개한 시기의 영상을 선택하였으며 시범연구지역으로 선정된 군위지역의 9월 영상 중 영상의 상태가 가장 양호한 영상을 선택하였다. 검색결과 선정된 영상은 군위군 소보면 일원의 영상으로 2007년 9월 27일에 촬영되었다.

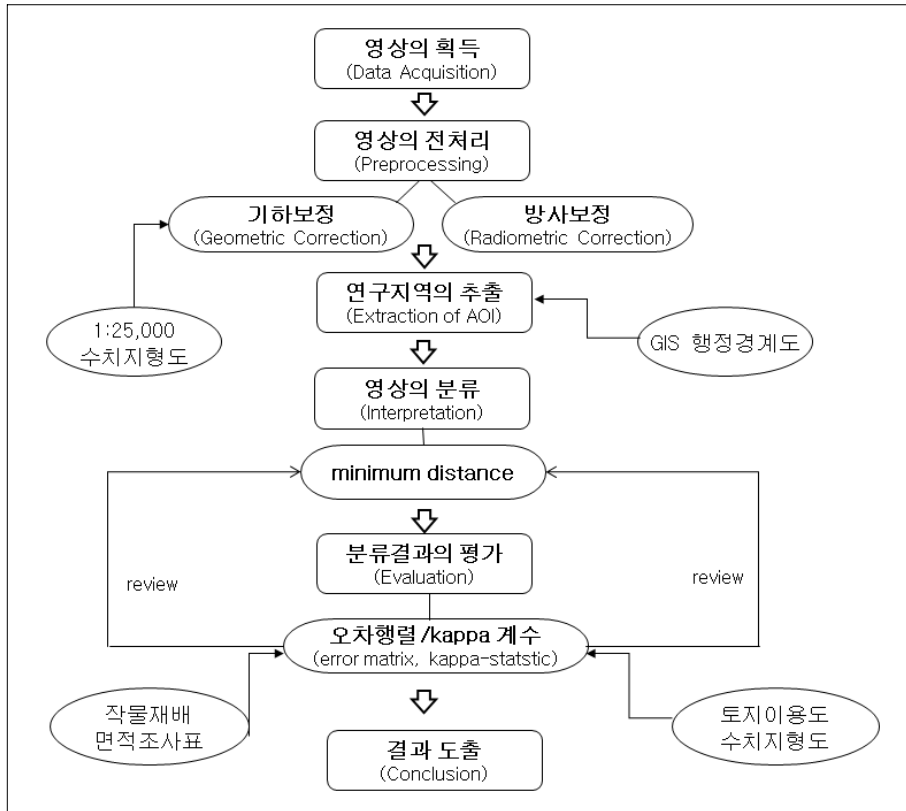
나. 실험의 범위

- 본 실험의 목적은 고해상도 위성영상을 판독하여 연구지역의 벼재배면적을 추정하는 것이다. 이를 위해 다중 시기의 영상과 해당 지역의 행정통계가 있어야 하나, 여러 가지 제약으로 인해 한 시기의 영상과 표본단위구에 해당하는 조사자료만이 존재하였으며 제약조건하에서의 본 실험의 범위는 다음과 같다.
- 본 실험은 농경지를 논벼재배필지, 기타작물재배필지, 과수필지, 시설작물필지의 4그룹으로 분류한 후 감독분류절차를 수행함으로

써 영상을 판독하고 판독결과 나타나는 논벼재배필지의 연구지역 총 면적을 산출한 후 영상판독의 정확도를 검증하기위하여 오차행렬을 이용하였다.

- 오차행렬을 작성하기 위하여 비경지 지역도 산림, 수역, 인공구조물과 연구지역의 강가에 많이 나타나는 모래사장의 4그룹으로 추가적으로 나누었다.
- 이를 위한 본 실험의 추진도는 다음 <그림 58>과 같다. 먼저 영상을 획득한 후 기하보정 및 방사보정처리를 한 후 영상촬영시기에 조사된 작물재배면적조사표를 참조하여 훈련지역을 추출하였다. 훈련지역의 분광반사특성을 기반으로 다양한 알고리즘을 적용해 감독분류를 해 보았으며 가장 결과가 좋게 나온 최소거리법 (minimum distance) 알고리즘을 이용하여 분류결과를 평가하였다.

<그림 58> 현장실험2의 체계도



2. 위성영상의 획득 및 처리

가. 위성영상의 획득

- 본 연구에서는 2007년 9월 27일에 촬영된 KOMPSAT-2호 영상을 이용하였다. 2차 실험을 위한 영상도 1차 경지면적추정실험 시와 동일한 방법으로 pan sharpening 하였다.

나. 영상의 전처리

(1) 영상융합

- KOMPSAT-2와 같은 고해상도 영상은 높은 공간해상도의 전정색영상과 보다 낮은 공간해상도의 다중분광영상의 형태로 나뉘어져 각각의 센서에서 촬영 된다. 이들 각 밴드별 영상들을 융합하는 작업(Pan sharpening)을 실시하여 높은 공간해상도에 다양한 분광정보를 가진 단일영상을 획득할 수 있다.
- 본 연구에서는 원래의 다중분광 데이터의 컬러 밸런스가 가능한 그대로 유지되어 방사정확도가 가장 정확하게 유지되는 주성분변환기법(principal component) 변환기법을 이용하였다.

(2) 기하보정

- 기하보정은 1:25,000 수치지형도에서 취득한 지상기준점(GCP)을 이용하여 영상의 인공변형을 제거하고 UTM 좌표로 Projection 되어 있는 원 영상에 동부원점을 기점으로 하는 TM좌표를 부여하여 Projection 하였다.
- 기하보정에 이용된 수치지형도는 AutoCAD를 이용하여 관련 Layer만을 추출하여 연구지역에 해당하는 지형도를 제작하였으며

이를 shape파일의 형태로 변환하여 Erdas Imagine에서 기하보정을 위한 참조자료(reference data)로 이용하였다.

- 기하보정작업은 2차 다항변환식(polynomial transformation)을 이용하였다. 지상기준점(GCP : ground control point)은 환경 및 계절적 영향을 적게 받으며 육안으로도 비교적 정확한 지점의 식별이 가능한 도로의 교차점, 건물의 모퉁이 등의 인공구조물들로 선정하였다.
- 해당 연구지역의 영상크기가 넓지 않아 많은 수의 GCP를 선정할 때 오히려 RMS 오차값이 커지는 경향이 나타났다. 1차 다항변환식을 이용할 때 요구되는 최소 GCP는 3개이며 본 실험에서는 4개의 GCP를 선정하였을 때 RMS 오차값이 0.5화소 내인 0.42m로 나타나 이를 이용하였다.
- 기하보정을 수행하는 알고리즘으로는 nearest neighbor, bilinear 내삽법, cubic convolution 내삽법 등이 있으며 본 실험의 목적이 영상의 분광값에 바탕한 경지면적의 추정이므로 여러 알고리즘 중 보정 후 영상이 육안으로 볼 때 다소 거칠어 보이나 원영상의 픽셀 값이 그대로 유지되는 nearest neighbor 기법을 이용하였다.

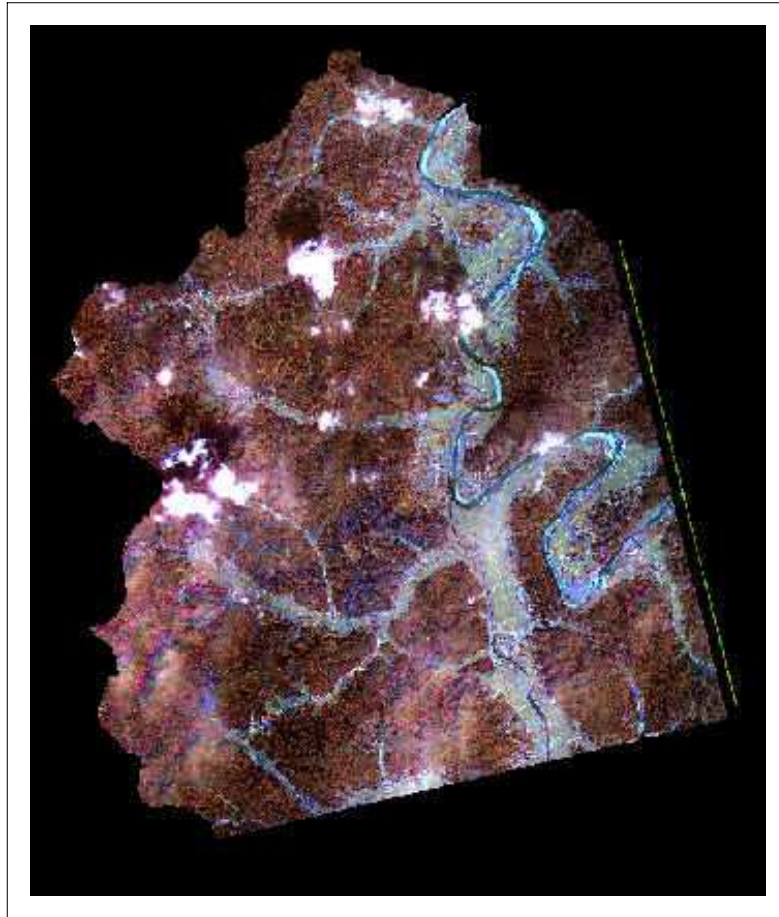
(3) 연구지역 추출

- 기하보정된 영상에서 군위군 고로면의 지역만 추출하기 위해 동

일한 TM좌표값이 부여되어 있는 행정경계도를 shape 파일로 export한 후 이를 중첩하여 연구지역(AOI)영상으로 추출하였다.

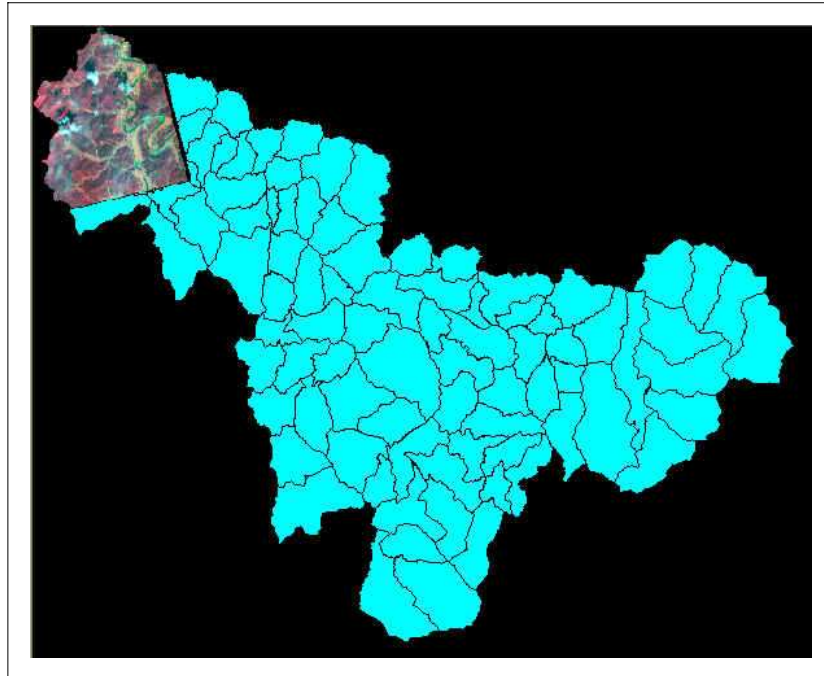
- 추출된 실험지역 영상은 다음 <그림 59>와 같으며 영상에서 구름이 드문드문 나타나지만 본 실험의 목적이 특정클래스의 면적이 아니라 층별 분류능력의 파악이기 때문에 영상을 그대로 이용하였으며 구름이 낀 지역들은 분류정확도 평가의 평가지점에서 제외하였다.

<그림 59> 연구지역2(군위군 소보면일대)영상



- 연구지역으로 추출된 군위군 고로면의 일부지역은 군위군의 전체 행정구역에서 다음 <그림 60>과 같이 북서지역에 위치에 위치하고 있으며 연구지역의 면적은 6,060ha로 군위군 전체 61,418ha의 약 9.8%에 해당한다.

<그림 60> 군위군 행정경계도와 실험영상2의 중첩



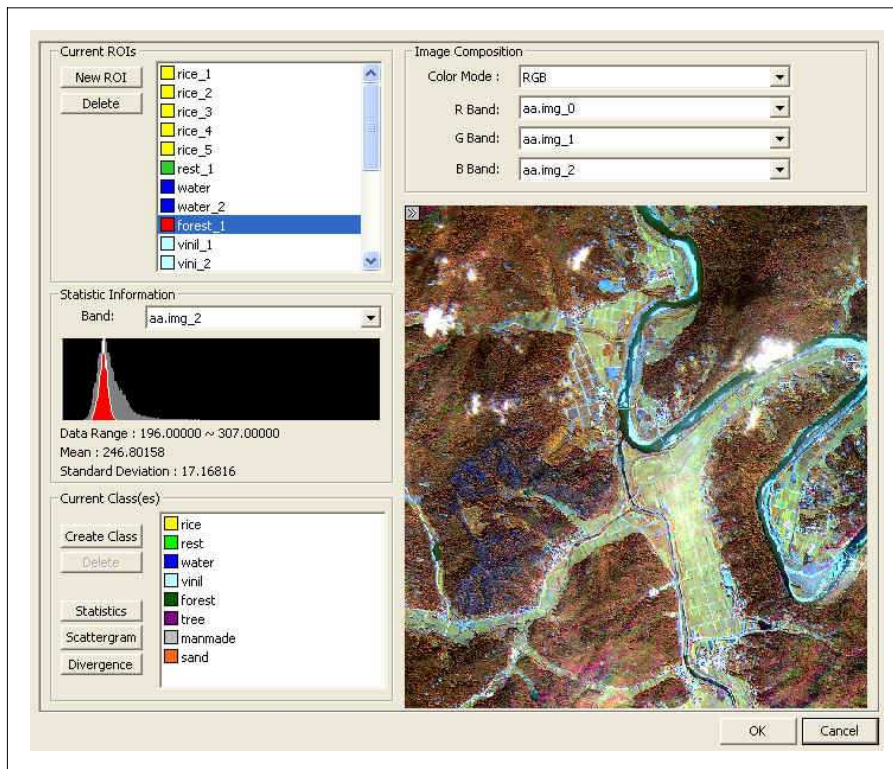
3. 감독분류알고리즘을 이용한 영상판독

가. 훈련지역의 추출

- 경지면적추정을 위한 1차 실험과 같이 분류목적에 맞는 각 클래스별 훈련지역을 추출하였다. 추출의 방법은 훈련자료들의 통계적 특성을 고려하여 안정된 훈련자료들을 채취하였다.
- 훈련자료들은 경지의 경우 영상촬영시기에 조사되었던 농관원의

작물재배면적조사표를 이용하여 필지별 작물상황을 취득한 후 통계적으로 합당한 지역들을 훈련지역으로 이용되기 위한 좌표를 연속수치지적도를 통해 취득하였으며 비경지의 경우 연속수치지적도 및 지형도, 그리고 영상에 나타나는 공간객체의 형태 등을 종합적으로 고려하여 취득하였다.

<그림 61> 훈련지역 추출(영상_2)



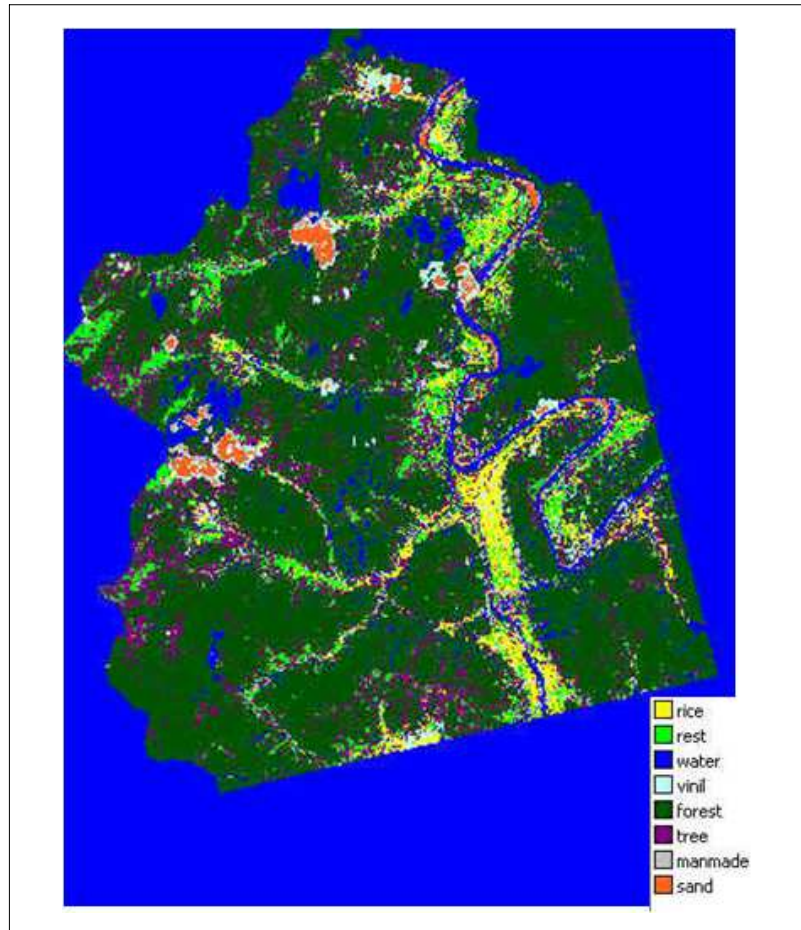
나. 감독분류 알고리즘을 이용한 영상판독

- 동일한 자료들의 훈련 집합이라 하더라도 사용하는 알고리즘에

따라 판독결과는 상이하게 나타난다. 즉, 선택된 훈련자료들의 분광적 특성을 가장 잘 나타내 줄 수 있는 알고리즘을 선택하는 것이 중요하다.

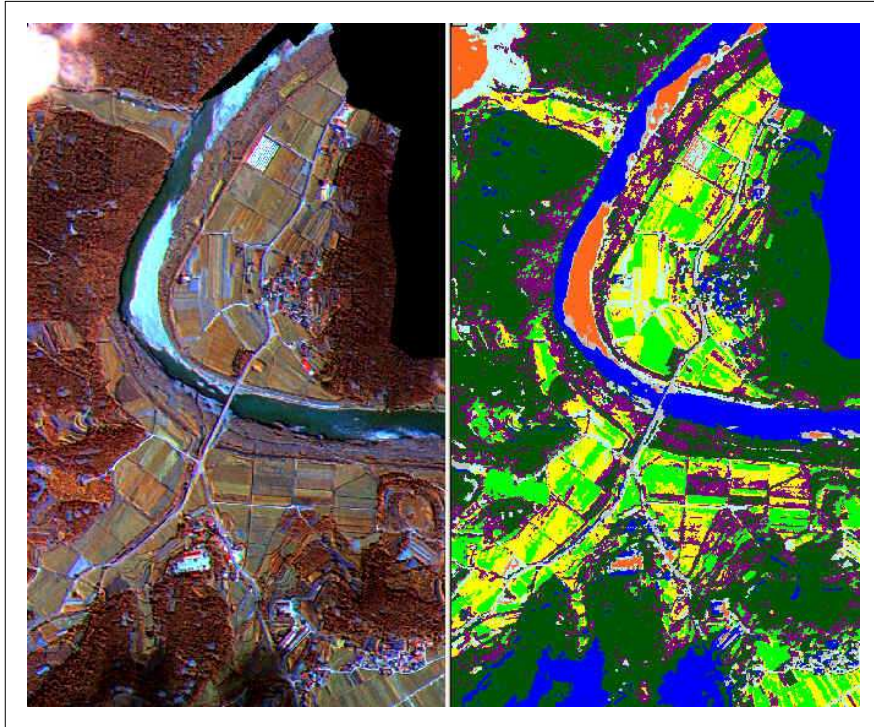
- 본 영상의 분류는 최대우도법, 마하라노비스 거리법 등과 같은 일반적인 감독분류 알고리즘들을 이용하여 실시하였으며 분류정확도가 가장 높게 나타난 방법은 평행사변형법으로 나타났다. 분류된 영상은 다음 <그림 62>에 나타나 있다.
- 육안으로 살펴볼 때 각 공간객체의 분류가 잘 된 것으로 판단되며 구름의 클래스를 별도로 지정해 주지 않았기 때문에 영상의 중간 중간에 보이는 구름들은 물 혹은 모래로 분류 된 것을 알 수 있다.

<그림 62> 실험영상2번의 감독분류결과

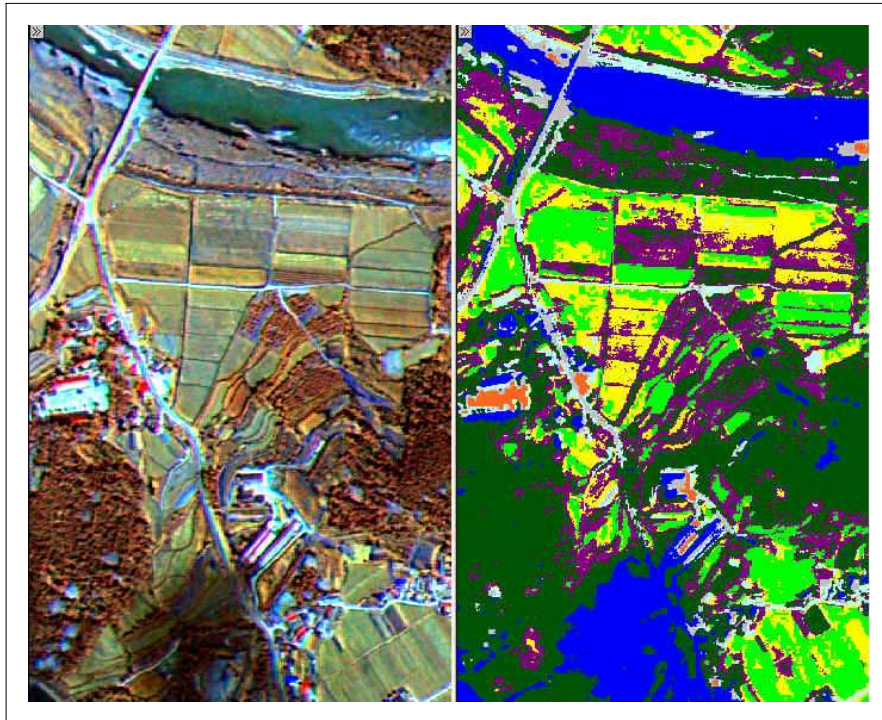


- 분류전·후 영상의 세부적 그림들은 다음 <그림 63>과 <그림 64>에 나타나 있다.
- 육안으로 식별하여 볼 때 각 필지별로 클래스의 구분이 선명히 나타났으며 이는 고해상도영상을 이용한 영상판독을 통해 국내 농경지식별의 가능성을 시사해 주고 있다고 볼 수 있다.

<그림 63> 실험영상2의 분류 전(좌),후(우) 비교-1



<그림 64> 실험영상2의 분류 전(좌)후(우) 비교-2



- 영상분류작업을 통해 나타난 연구지역내의 각 클래스별 면적은 다음 <표 20>과 같으며 연구의 목적인 논벼재배필지의 전체 면적은 238.5 ha로 나타났다.
- 분류결과 238.5ha로 나타난 논벼재배면적을 검증할 연구지역 해당 통계가 없기 때문에 공식통계값과의 직접 비교는 불가능하였다. 따라서 일반적으로 원격탐사의 분류결과평가에 이용되는 오차행렬(error matrix)를 제작하여 분류 결과에 대한 간접평가를 실시하였다.

<표 20> 영상분류결과에 따른 클래스별 면적

(단위 : ha)

	면적	비율(%)
논벼	238.5	3.9
기타작물	301.5	5.0
과수	431	7.1
시설작물	14	0.2
산림	4391	72.5
인공구조물	32	0.5
수역	117.5	1.9
모래사장	534.5	8.8
계	6,060	100

4. 결과의 평가

가. 오차행렬을 통한 정확도 평가

- 오차행렬의 작성을 위해서는 알고자하는 특정 클래스에 대한 검증뿐만 아니라 영상 분류 시 설정하였던 모든 클래스에 대한 검증 자료를 만들어야 한다.
- 오차행렬표를 볼 때 열의 방향으로 읽어 내려가면 영상을 분류한 생산자의 입장에서 각 해당클래스의 분류정확도를 산출할 수 있으며 이를 생산자 정확도라고 한다. 또한 행의 축으로 읽어 내려가면 분류된 영상을 받은 사용자가 접하는 각 클래스의 분류정

확도를 산출할 수 있으며 이를 사용자 정확도라고 한다.

- 본 실험의 결과를 평가하기 위하여 분류 시 설정되었던 각 공간 객체별(클래스별) 검증지점을 추출하였다. 논벼재배필지를 비롯하여 기타작물재배필지, 과수와 시설작물재배필지(비닐하우스)의 경우 영상촬영시기에 이루어졌던 작물재배면적조사표를 이용하여 검증지점을 추출하였으며 비경지의 경우 현장 실사 및 지형도와 토지이용도 및 영상을 이용하여 별도로 추출하였으며 각 클래스별 검증 지점의 개수는 다음 <표 21>과 같다.

<표 21> 클래스별 검증지점의 개수

클래스	검증 지점 개수
논벼재배필지	83
기타작물재배필지	25
과수	36
시설작물	19
산림	19
수역	8
인공구조물	11
백사장	7
합계	208

- 경지면적에 해당하는 검증지점의 개수는 163개였으며 비경지에

해당하는 검증지점의 개수는 45개로 전체 208개 지점의 현장자료를 영상분류결과와 비교하였다.

<표 22> 실험영상2의 감독분류결과 error matrix

	논벼	기타 작물	과수	시설	산림	수역	인공구 조물	백사장	합계
논벼	77	3	1	0	0	0	0	0	81
기타작 물	4	15	6	1	1	0	0	0	27
과수	1	5	25	2	2	0	0	0	35
시설	0	0	0	16	0	0	1	0	17
산림	1	2	4	0	16	0	0	0	23
수역	0	0	0	0	0	8	0	0	8
인공구 조물	0	0	0	0	0	0	10	0	10
백사장	0	0	0	0	0	0	0	7	7
합계	83	25	36	19	19	8	11	7	208

- 분류결과를 살펴보면 비경지는 비교적 오분류없이 정확히 분류가 일어났으나 경지 간에는 논벼필지와 기타작물 필지간의 오분류가 나타났으며(7개) 과수와 기타작물 간(6개), 과수와 산림 간(4개)에도 오분류가 비교적 많이 나타났다. 이러한 오차는 다중시기의 영상을 분류함으로써 걸러낼 수 있을 것으로 판단된다.

- 본 실험의 전체정확도는 다음 <표 23>에서 볼 수 있듯이 83.65%로 나타났으며 카파 통계값은 67.62%로 매우 낮게 나타났다. 경지간의 오분류가 카파값을 낮게 나오도록 한 것으로 판단된다.

<표 23> 전체정확도 및 Kappa-Statistic

구분	정확도(%)
전체정확도(overall accuracy)	83.65
Kappa-Statistic	67.62

- 각 클래스별 생산자정확도와 사용자정확도로 나타낸 개별 정확도는 다음 <표 24>에 나타난다. 본 실험의 관심지역인 논벼클래스의 경우 생산자정확도가 92.8%, 사용자정확도가 95.1%로 나타나 매우 정확하게 분류된 것으로 나타났기 때문에 238.5ha로 나타난 논벼재배필지는 그 오차의 범위가 크지 않을 것으로 판단된다.
- 정확도가 가장 낮게 나타난 클래스는 기타작물필지로서 생산자정확도가 60.0%, 사용자정확도가 55.6%로 나타나 판독결과를 신뢰하기에 매우 부족한 값으로 나타났다. 이는 논벼를 제외한 전체 필지를 하나의 클래스로 통합하는 과정에서 여러 공간객체가 혼재되어 나타남으로써 빚어진 불가피한 결과이며 향후 연구에서 다중시기 영상을 이용하여 기타필지를 좀 더 효율적으로 세분화할 수 있는 방안이 연구되어야 할 것이다.

<표 24> 각 클래스별 정확도

클래스	생산자정확도(%)	사용자정확도(%)
논벼	92.8	95.1
기타작물	60.0	55.6
과수	69.4	71.4
시설	84.2	94.1
산림	84.2	69.6
수역	100.0	100.0
인공구조물	90.9	100.0
백사장	100.0	100.0

제 6 장 현장실험결과 요약 및 제언

- 경지면적과 작물재배면적통계는 농업정책 뿐만 아니라 농업의 다원적 기능으로 인한 여러 분야의 정책 및 학술연구에 중요한 자료로서 이용되어 지고 있다.
- 우리나라의 경우 경지면적과 작물재배면적통계는 국립농산물품질관리원에서 생산하고 있으나 해당통계가 가지는 중요성에 비하여 고급통계를 생산하는 데는 많은 한계점을 가지고 있다. 주요국들은 원격탐사기술을 이용한 고급 농업통계 생산에 많은 연구와 투자를 실시하고 있다.
- 국내의 면적통계의 근간은 전수조사로 약10여년을 주기로 재구축되는 모집단 단위구와 이를 바탕으로 한 표본단위구들에 의한 표본조사이다. 작물재배면적조사는 작물의 생육상황에 따라 연5회에 걸쳐 시행하고 있으며 경지면적 조사는 제3회 작물재배면적조사 시 병행 실시하고 있다. 한번 구축된 표본 단위구들은 매우 오랜 기간동안 이용되기 때문에 현재의 농업통계에 급변하는 농업환경을 반영하기에는 무리가 있다.
- 미국의 면적통계생산에의 원격탐사기술의 응용범위는 크게 두 가지로 요약해 볼 수 있다. 먼저 area frame을 구축하기 위한 토지층화작업을 위성영상을 기반으로 실시하게 되며 위성영상 판독을

통한 층화작업 후, 이를 PSU로 나누고 각 층별 PSU에 현장조사 될 샘플 단위구(segment)를 구획한다. 다음으로 작물의 재배면적을 추정할 때 원격탐사기술을 이용한다.

- 현장 실험을 할 분석구역내의 위성영상을 이용하여 구한 작물재배면적과 현장 조사 결과값을 토대 통계적 알고리즘을 이용해 분석구역내의 작물재배면적을 추산한 후 이를 전체 영상에 걸쳐 전체 작물재배면적을 추정하는 작업이다. 이는 보통 현장조사결과만으로 면적을 추정하는 것에 비하여 3~4배의 효율성을 보여준다.
- 미국은 농업에 원격탐사 기술 활용을 정형화하기 위하여 PEDITOR라는 전용 소프트웨어를 개발해 왔으며 이 프로그램으로 영상의 처리부터 작물재배면적통계값의 산출까지 모두 이루어지고 있다. 또한 원격탐사기술을 이용하여 생산된토지이용정보 및 작물재배면적통계정보는 GIS의 형태로 구현되어 민간에 무료로 배포되고 있다.
- 국내 면적통계에의 원격탐사기술 적용의 도입 가능성과 시사점을 탐지하여 보기 위하여 실제 위성영상을 이용해 특정지역에 대한 현장실험을 실시하였다.
- 먼저 실험에 이용될 위성영상의 경우 미국은 우리나라에 비하여 특정작물의 재배범위가 광활하게 나타나며 농경지가 정방형으로 규칙적으로 나타나기 때문에 공간해상도가 30m인 중해상도

Landsat-TM 영상을 이용해 토지이용 및 재배작물의 면적통계를 생산하는데 적절한 요건을 갖추었다고 볼 수 있으나 우리나라는 경지의 형태가 조밀하면서도 불규칙하게 나타나는 경우가 많고 재배작물의 범위도 비교적 소규모의 필지들이 복합적으로 나타난다.

- 이러한 국내 농업의 특성을 고려할 때 원격탐사기술도입을 위해서는 기본적으로 고해상도 위성영상의 이용이 필요하였다. 본 실험을 위해 획득할 수 있었던 영상은 KOMPSAT-2호의 6월과 9월에 각각 촬영된 2시기 영상이었으며 두 영상의 촬영지역이 달라 각각 실험이 진행되었다.
- 2007년 6월 담수기에 촬영된 KOMPSAT-2호 영상은 아직 작물이 성장하지 않고 있을 시기이므로 경지면적추정실험을 실시하였으며 9월에 촬영된 영상은 작물이 만개한 시기로써 벼재배면적추정을 위한 실험에 이용하였다.
- 6월시기 영상을 이용한 경지면적 추정에 있어서 감독분류에 기반한 영상관독을 실시하였으며 가장 분류정확도가 높게 나타난 기법은 평행사변형법과 Mahalanobis기법을 함께 이용한 경우로 나타났다. 다음으로 최대우도법으로 나타났다.
- 연속수치지적도상의 실험지역의 총경지면적과 비교한 결과 두 방법모두 94%이상의 정확도를 나타내었다. 하지만 논외의 경우 과소 평가되었으며 밭의 경우는 과대평가되어 나타났다. 오차의 원인

과 현장 상태를 확인하기 위하여 2차적으로 영상촬영시기에 실시된 작물재배면적조사표를 이용하여 총 132개 필지에 대한 현장정보와의 검증작업을 실시하였으며 오분류의 원인으로는 휴경지, 재배준비, 기타작물재배 등으로 나타났다.

- 또한 논벼가 재배되는 필지는 80%이상의 정확도로 논으로 분류됨으로써 논벼재배면적의 추정 용이성을 확인하였다. 본 실험에서는 단일시기의 영상만을 이용하였지만 다중시기의 영상을 이용해 분석한다면 이러한 지역에 대한 좀 더 심도 깊은 분류가 가능할 것이고 특정 작목들에 대한 재배면적의 추정도 용이할 것으로 기대된다.
- 2007년 9월인 작물 만개기에 촬영된 영상을 이용하여 벼재배면적을 추정하여 보았다. 경지이용 상황을 벼재배필지와 기타작물재배필지, 과수 그리고 시설작물의 4개의 클래스로 나누어 각각의 혼련지역을 추출하였으며 영상의 분류결과의 평가를 위해 비경지도 산림, 수역, 인공구조물, 백사장 등의 4개의 클래스로 나누었다.
- 감독분류결과 가장 정확도가 높게 나타난 방법은 평행사변형법으로 나타났으며 분류결과에 따른 논벼재배필지의 면적은 약 238.5ha로 나타났다. 이 분류결과값과 비교될 행정통계의 부재로 인해 오차행렬을 이용하여 분류정확도를 검증하였으며 논벼재배필지에 대한 생산자정확도와 사용자정확도는 92.8%와 95.1%로 각각 나타났다.

- 하지만 단일시기의 영상을 이용함으로써 논벼필지와 기타작물간의 오분류가 많이 일어났으며 이를 위하여 다중시기의 영상을 이용한 후속연구가 추진되어야 할 것이다. 또한 하나의 클래스로 묶어 처리된 기타작물 클래스를 세분화 할 수 있는 다중시기 영상과 다양한 판독기법을 적용하는 향후연구가 추진되어야 할 것이다.

제 7 장 원격탐사 기술의 농업통계분야 활용방안

- 현재 시행되고 있는 국내 농업통계생산의 가장 큰 취약점은 표본 조사에서 오는 정확도의 문제이다. 보통 표본이 구축되고 나면 10여년을 사용하기 때문에 급변하는 농촌지역의 사회 경제적 변화를 효과적으로 반영하는데 어려움이 있다. 또한 표본 조사 시 발생할 수 있는 다양한 오류의 잠재성으로 인해 이용자들의 현행 통계 자체에 대한 신뢰도가 저조한 실정이다(김충실, 2004).
- 원격탐사기술을 농업통계에 접목시킬 때 가져올 수 있는 가장 큰 장점은 바로 조사지역에 대한 전수조사가 이루어 질 수 있다는 것이다. 또한 기본적으로 전수 조사값이 산출되기 때문에 현행 시·군단위보다 더 작은 면·리의 통계값까지도 산출될 수 있을 것이다.
- 영상획득 및 여러 가지 기술적 요인들로 인하여 원격탐사가 현행 표본조사를 완전히 대체할 순 없을지라도 최근 급격히 발전하고 있는 고해상도 인공위성영상과 영상분류기술은 면적통계생산을 위한 농업적 응용에 큰 탄력을 실어 줄 수 있을 것이다.
- 본 연구결과를 바탕으로 하여 원격탐사기술을 국내 면적통계생산에 응용할 수 있는 몇 가지 방안을 정리해 보았다. 크게 경지총조사(모집단 구축), 모집단 정비, 경지면적 추정, 작물재배면적추정, 영상판독값과 현장조사결과값을 연계하여 보다 정확도가 높

은 통계값을 산출하는 방법 등으로 나누어 보았다.

1. 경지 총조사 및 표본추출

- 원격탐사기술로 증화된 영상을 바탕으로 단위구를 구축하는 것이 (미국 및 유럽의 area sampling frame 구축) 농업면적통계에 원격탐사를 이용하는 가장 첫 번째이자 유용한 방법이다. 현재 우리나라의 경우 외국의 사례와 달리 농업부문에서 독자적으로 농경지만을 11개 성격의 층으로 구분하여 증화하고 있으며 국내농지의 규모가 작고 조밀하며 복잡한 형태로 분포하고 있는 점을 고려하여 사용될 위성영상을 선정 하여야 한다.
- 위성영상의 선정에는 다음 <표 25>와 같은 4가지 일반적으로 해상도가 고려된다. 모든 해상도가 연구의 목적과 특성에 따라 적절히 고려되게 된다. 국내 실정에 맞는 경지의 이용실태별 증화작업을 위해서는 가장먼저 공간해상도가 1m이하인 영상이 필요하다.

<표 25> 원격센서의 선정기준

해상도	기능
공간 해상도(spatial resolution)	센서에 의해 표현가능 한 가장 작은 지상물체의 공간적 크기(픽셀의 면적)
분광 해상도(spectral resolution)	지상의 공간객체를 얼마나 많은 센서를 이용해 관측가능 한 파장의 범위
방사 해상도(radiometric resolution)	지상의 공간객체로부터의 반사/방사 된 전자파를 기록할 때 신호강도의 차이를 구별하기위한 감지기의 감도
주기 해상도(temporal resolution)	지표면의 동일지역을 재촬영하는 주기

- 농로 및 규반의 폭 등이 매우 좁으며 비닐하우스와 같은 시설이 영상에서 육안으로 구분되고 이를 바탕으로 단위구의 구축도 이루어지기 위해서는 공간해상도가 높은 초고해상도영상이 필요하다.
- 분광해상도와 방사해상도의 경우 공간해상도가 1m이상인 초고해상도 위성의 경우 공간해상도가 30m인 Landsat-TM 영상보다 오히려 떨어진다. 따라서 보통의 경우 공간해상도와 분광해상도는 어느정도의 역관계(trade-off)가 발생하게 되며 이를 종합적으

로 고려하여 위성영상이 선정되게 된다.

- 본 연구를 통하여 KOMPSAT-2호 영상의 경지분류 목적에 맞는 분광해석능력을 입증하였기 때문에 KOPSAT-2호의 경우 국내 실정에 맞는 경지총조사에 이용할 수 있을 것으로 판단된다.
- 또한 중요하게 고려되어야 하는 것이 주기해상도이다. 이는 동일 지역을 위성이 얼마나 자주 촬영하는가를 의미한다. 이는 곧 필요한 시기의 영상의 취득 가능성을 의미한다. 작물의 생육시기가 정해져 있으며 이에 따라 특정시기의 영상이 필요한 농업부문의 경우 여타 원격탐사연구보다 주기해상도가 매우 중요하게 고려된다. KOMPSAT-2의 경우 동일지역을 3일을 주기로 재방문 하게 된다.
- 하지만 주기해상도가 3일이라고 해서 일년에 120여장의 영상을 확보할 수 있는 것이 아니다. 왜냐하면 악천후라든가 센서의 오류, 촬영 각도 등의 다양한 원인으로 인하여 실제 획득할 수 있는 영상의 수는 매우 제한적이며 특히 특정 시점에서의 영상을 획득하기란 매우 쉽지 않다. 또한 KOMPSAT-2의 경우 15km×15km의 영상으로 촬영이 된다. 따라서 넓은 면적의 지역에 대한 영상을 모자이크하기 위해서는 그에 따라 많은 수의 영상이 필요하게 되며 그만큼 영상 획득에 대한 부담이 가중된다.
- 약 10여년을 주기로 하여 실시되고 있는 경지총조사의 경우 다음과 같은 애로와 한계점이 있다. 먼저 조사원이 토지대장과 지적

도를 바탕으로 목측으로 현장실사를 하게 된다. 이는 조사자의 숙련도 및 조사의 성실성 등에 많은 영향을 받게 되며 목측조사에서 오는 오차를 발생하게 된다.

- 또한 조사시기가 11월~2월사이의 기간으로 대부분의 작물 생산이 종료된 이후로서 해당 필지의 재배작물에 대해 유추 혹은 소유자로부터의 면담을 통해 기록된다. 이는 또한 조사단계에서 많은 오차를 가져오게 된다.
- RS 기술을 이용하여 경지총조사를 시행한 후 이를 바탕으로 단위구를 구축할 때 얻을 수 있는 효용은 다음과 같다. 먼저 현행 경지 총조사 주기인 10년이 5년 이내로 줄어들 수 있다. 영상의 획득 주기와 영상처리 담당자의 숙련도 등을 고려하면 이 주기는 더욱 짧아질 수 있다.
- 둘째 조사원들의 목측에 의한 편의가 줄어든다. 즉 여러 조사원들로부터 오는 다양한 관측오차 등이 줄어들고 일정한 오차 범위 내에서 전수조사 할 수 있게 된다.
- 셋째로 경지총조사에 대한 자료가 시각적 자료로 데이터베이스화 되어 다양한 목적으로 활용가능하다. 총화된 영상을 바탕으로 경지이용 목적이 유사한 필지끼리 묶어 단위구의 동질성을 높일 수 있게 된다. 또한 경지총조사가 시행될 때마다 경지의 이용 상태 변화 등을 쉽게 탐지할 수 있게 된다.

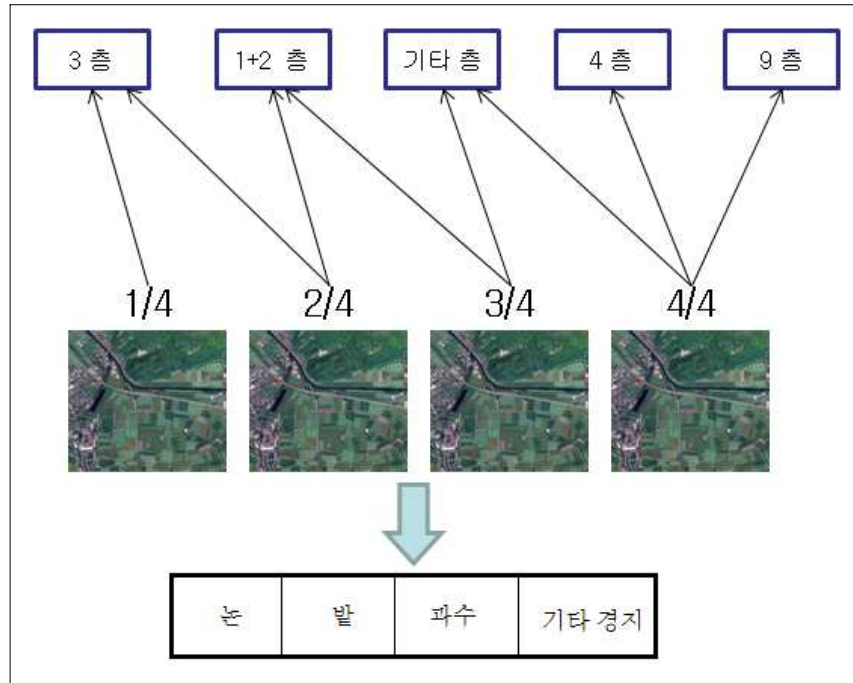
- RS기술을 현행 층화체계에 그대로 적용하기 위해서는 현재의 원격탐사 기술로는 한계가 존재하기 때문에 기존의 현장답사를 통한 조사도 일부 병행되어야 한다. RS기술의 의존도를 높이기 위해서는 현행 층화체계의 기준을 좀더 RS 기술에 적화 될 수 있는 방향으로 조정하는 것도 검토되어야 할 것이다.
- 본 연구에서는 현행 층화체계를 유지하면서 RS기술을 접목할 수 있는 방안을 제시한다. 먼저 동일지역에 대하여 계절별 4시기의 영상을 획득한다. 각 시기별 영상은 시기별·작물별 분광특성을 통하여 종합적으로 이용된다.
- 현행층화기준을 준용할 시 RS분야의 기술적 한계점을 고려하여 볼 때 최소 4시기의 영상을 이용함으로써 층화할 수 있는 층은 다음 <표 26>과 같다.

<표 26> 현행층화단위의 RS영상관독

층번호	작물 재배형태	영상시기(분기)
1+2	논벼	2/4, 3/4
3	맥류	1/4, 2/4
4	시설작물	4/4
9	과수	(2/4), 4/4
5,6,7,8,10,11	기타층	전체 영상

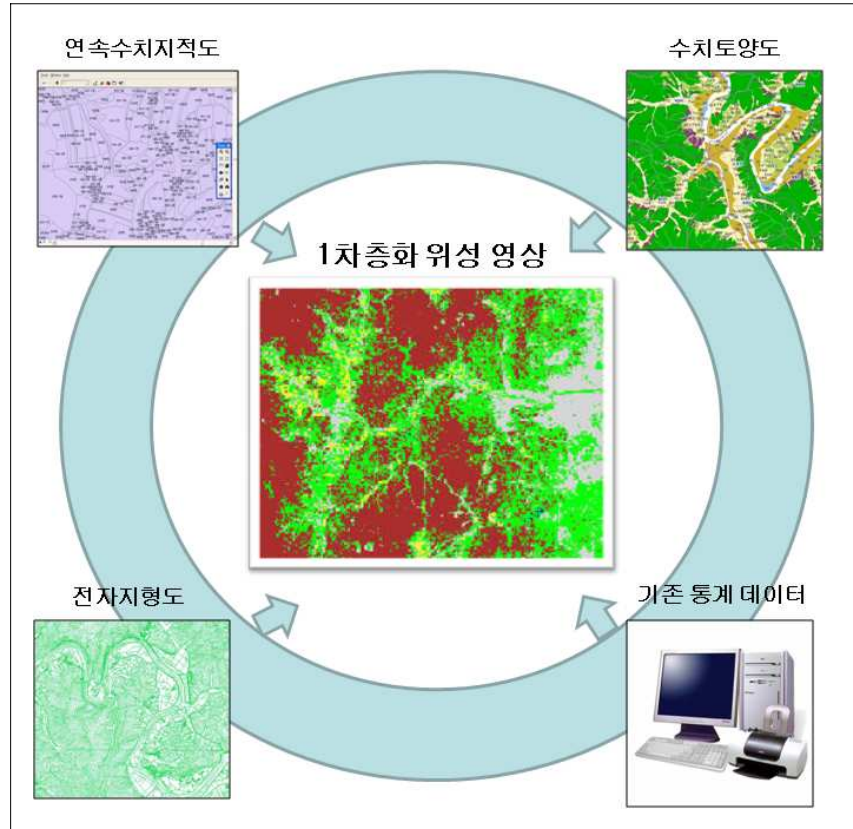
- 지난 2005년 구축된 모집단 자료에 의하면 RS로 층화가 가능한 1, 2, 3, 4, 9층이 모집단에서 차지하는 면적의 비율은 약 75%로 나타났다. 즉. 영상의 안정적 공급이 가능할 때 전체 경지의 약 3/4정도가 RS를 이용한 층화가 가능하다는 것을 의미한다.
- 동일 지역에 대한 분기별 4시기의 영상을 이용한 1차 층화작업의 단계는 다음 <그림 65>에 나타나 있다. 각 시기별 영상들을 층별 작물의 생물학적 성장주기에 따라 판독이 용이하도록 조합하여 층을 나누게 된다. 아래 그림은 우리나라의 현행 층화 체계를 기반으로 하여 설정한 것이며 RS기술이 경지층화작업에 이용되기 위해서는 해당기술의 접목이 용이해 지도록 각 층의 구분기준 또한 변경되어야 할 것이다.

<그림 65> 위성영상을 이용한 1차 층화작업단계



- 영상을 통한 1차 층화작업 이후에는 1차 층화작업의 정확도를 평가하는 작업이 수반된다. 이는 기존의 행정통계 및 다양한 GIS 데이터를 이용하여 정량적, 정성적 평가가 이루어지는데 필요한 경우 현장 확인 작업이 수반되어야 한다(그림 66).

<그림 66> 위성영상을 이용한 1차 증화작업 결과 검토단계

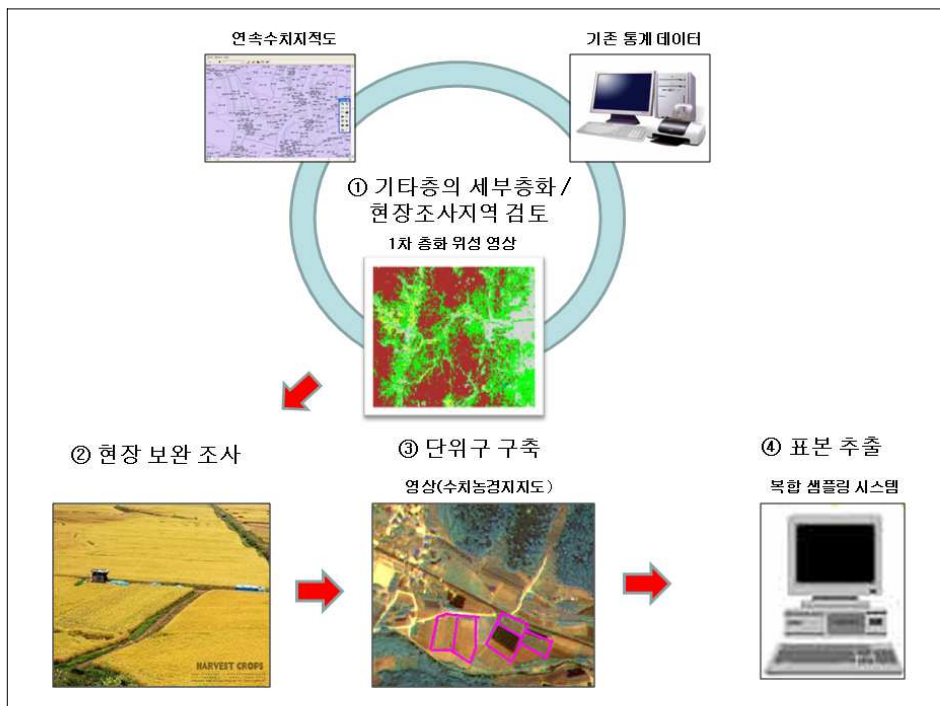


- 1차 증화작업의 결과를 평가하고 보완하기 위한 현장 조사가 이루어지며 동시에 RS로 관독이 불가능한 나머지 경지에 대한 2차 증화작업을 위한 현장조사가 이루어진다. 현장조사 결과로 보완된 최종 증화 영상은 영상 DB에 저장되며 증별 단위구 구획이 이루어진다.
- 현행의 필지기준의 임의적 단위구 구획이 아닌 동질적 속성을 지

닌 필지들끼리의 단위구 구획작업이 이루어지며 이는 해외사례를 비추어 볼 때 표본수의 감소와 추정치의 정확도를 가져올 수 있을 것이다.

- 단위구가 벡터라이징 된 후 경지이용 현황정보가 담긴 속성값과 함께 DB에 저장이 된다. 향후 연구에서 개발될 복합표본추출시스템에 의해 층별 표본이 자동 할당되며 할당된 표본은 현장에 대한 영상과 함께 현장 조사원들에게 배송된다(그림 67).

<그림 67> 현장조사를 비롯한 2차 층화단계

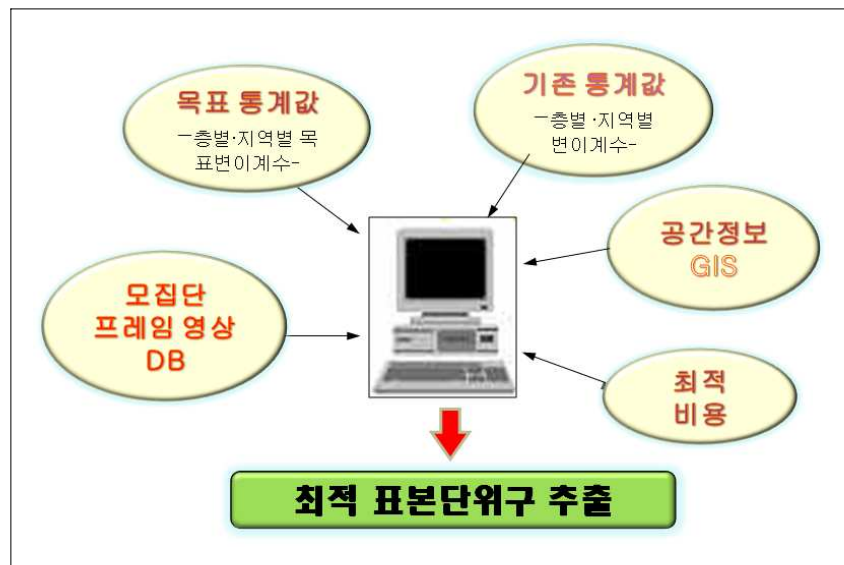


- 향후 연구에서 개발될 표본단위구 복합 샘플링시스템의 개념적

구조는 다음<그림 68>과 같다. 먼저 디지털라이징된 전 단위구가 공간정보로 투입된다. 단위구 폴리곤 내에는 지적과 재배작물의 정보 등에 관한 다양한 속성정보가 내포되어야 한다.

- 그리고 각 층별 목표 통계값과 기존의 목표 통계량 등이 투입요소로 들어간다. 현장조사를 위한 시간과 비용의 제약조건 또한 반영되며 최적지 선정 등의 GIS 기법 등이 연계되면 공간적 정보도 고려되는 샘플링 시스템이 구축될 수 있을 것이다.

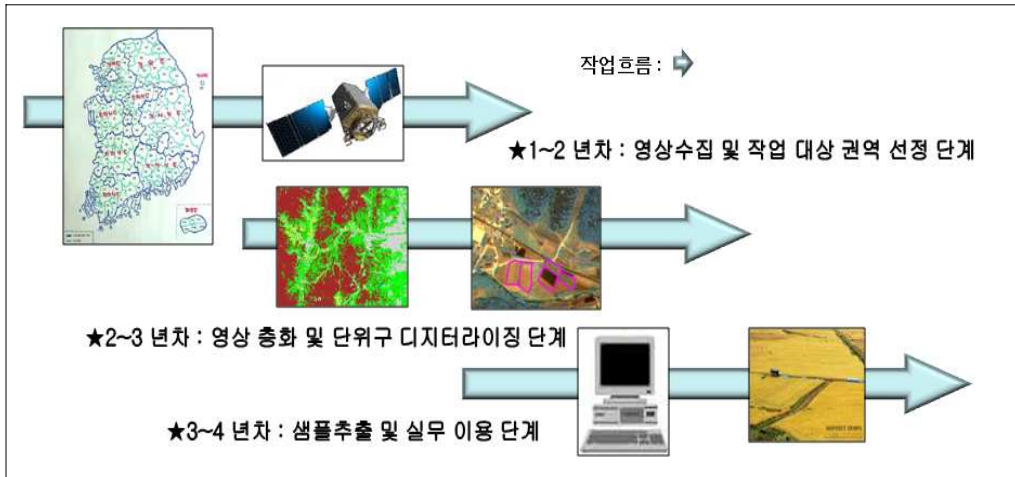
<그림 68> 최적표본단위구의 추출



- 앞서 기술된 경지총조사 및 표본단위구 샘플링에의 RS응용방안을 추진시간을 고려하여 종합하면 다음 <그림 69>와 같다. 먼저 영상의 처리 및 데이터를 처리하기위한 시간 및 비용을 고려하여 볼 때 전국을 권역별²²⁾로 나누어 1년에서 최대 2년에 걸쳐 영상

을 수집한다. 영상은 동일지역에 최소 2시기에서 최대 4시기의 영상을 수집하여야 한다.

<그림 69> RS적용 경지총조사 및 표본단위구 추출 흐름도



- 영상수집이 완료된 다음해에는 영상관독을 통한 1차 증화와 현장 조사를 통한 2차 증화작업을 시행한다. 영상이 증화되고 나면 동일성격의 필지별로 단위구를 구축하고 디지털화한다. 본 작업은 많은 인력의 투입을 요하며 전용 솔루션의 개발이 요구된다.
- 단위구의 디지털라이징이 완료되면 증별 최적 표본단위구가 추출되며 추출된 표본들의 영상정보와 함께 현장에서 사용되게 된다. 영상수집으로 시작하여 현장이용에 이르기까지의 과정은 최소 3년에서 최대 4년 정도가 소요될 것으로 예측된다. 권역별로 최초

22) RS를 이용한 증화작업이 행정구역별이 아닌 권역별로 이루어지는 것은 영상의 획득과 처리의 용이성을 감안하기 위한 방안이다.

의 구축이후 주기적 갱신작업은 보다 용이할 것으로 예측된다.

- 또한 위의 과정을 손쉽게 할 수 있는 ‘국가 농업통계 RS 정보시스템’의 개발이 요구된다. 미국의 경우 PEDITOR란 전용 S/W를 개발해 영상처리부터 통계처리까지 하나의 솔루션으로 이용하고 있으며 중국의 경우 중국 작물관측시스템(CCWS)하에서 RS를 접목하기 위한 GVG시스템 등과 같은 전용솔루션을 개발·운영하고 있다.

2. 모집단 정비

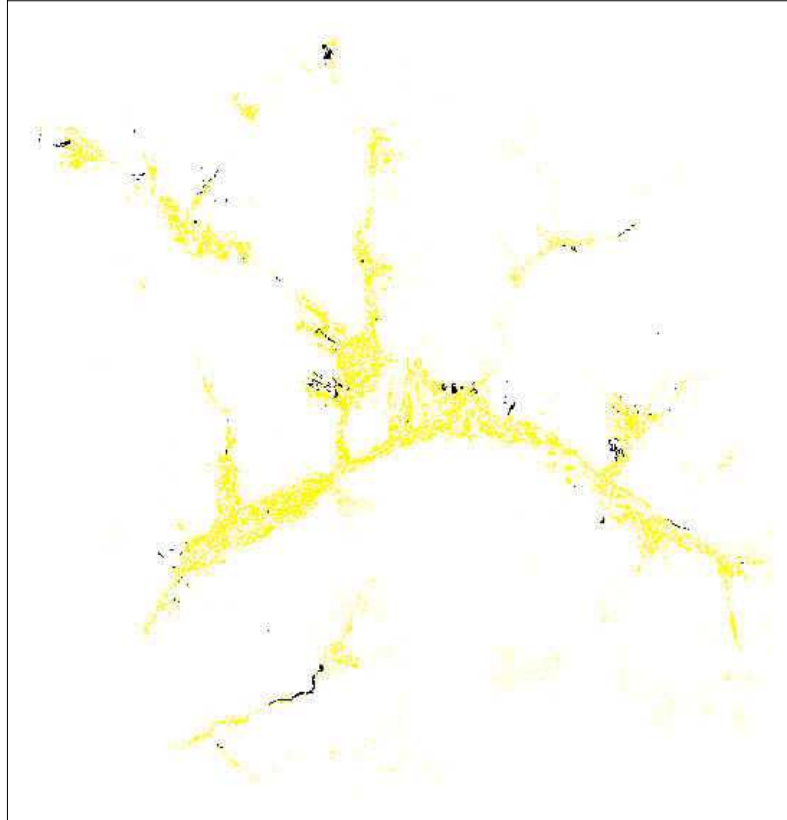
- 2007년 현행 모집단 단위구는 2005년에 구축되어 증화된 후 각 층별 표본이 추출되었다. 현재 미국은 각 주별로 위성영상을 이용하여 전 지역을 증화한 후 증화결과에 따라 PSU를 편성하고 각 층별 PSU내에서 표본 단위구를 추출하여 현장조사를 하고 있다.
- 국내는 농업 필지들의 지리적 구조가 조밀하고 다양한 작물이 산발적으로 재배되고 있기 때문에 미국의 방법을 그대로 전용하기에는 적절하지 않으며 현재 구축된 모집단 단위구의 정보를 영상판독결과를 통해 검증하여 보완하는 방법이 바람직하다.
- 본 연구의 결과에 의하면 영상판독결과는 경지와 비경지를 구분하는데 매우 높은 정확도를 보여 필지의 실제 이용정보를 잘 알

수 있었다. 이 작업을 통하여 장부상의 필지 외에 경지로 이용되는 면적 혹은 장부상의 필지가 비경지로 이용되는 경우 등의 경우가 구분되어 질 것이며 좀 더 정확한 모집단을 구축할 수 있을 것이다.

- 이러한 작업을 2년 혹은 3년을 주기로 실시하여 모집단을 정비한다면 보통 10년 정도 사용되는 현재 모집단시스템을 보다 정확하게 보완할 수 있을 것이다. 다음 <그림 70>를 보면 연속수치지적도와 분류된 영상의 중첩화면이 나타나 있다.
- 그림에서 노란색으로 옅게 나타나는 지역은 연속수치지적도와 분류된 영상 모두에서 경지로 나타난 지역들이며 검은색으로 나타난 점은 연속수치지적도상에는 비경지로 입력되어 있으나 영상분류결과는 작물이 재배되고 있어 실제 경지로 이용이 되어 논 또는 밭으로 분류된 지역들이다.
- 이 지역들을 육안 판독해 본 결과 대부분 실제 작물이 재배되고 있는 지역인 것으로 나타났다. 산발적으로 나타난 검은 점들의 전체 총 면적은 9.8ha에 해당하였다. 현행 단위구 정비 체계 하에서는 2ha이상의 집단적인 경지의 증가 또는 감소만을 전수조사를 통하여 반영하기 때문에 이렇게 면적의 변화는 크지만 산발적으로 일어나는 경지의 변동은 반영하기가 불가능하다.
- 이러한 지점들에 대하여 현장조사 혹은 기타 참조자료를 이용하여 토지 이용 현황을 점검한다면 모집단 정비의 정확도를 높일

수 있을 것으로 기대된다.

<그림 70> 비경지가 경지로 이용되고 있는 지역



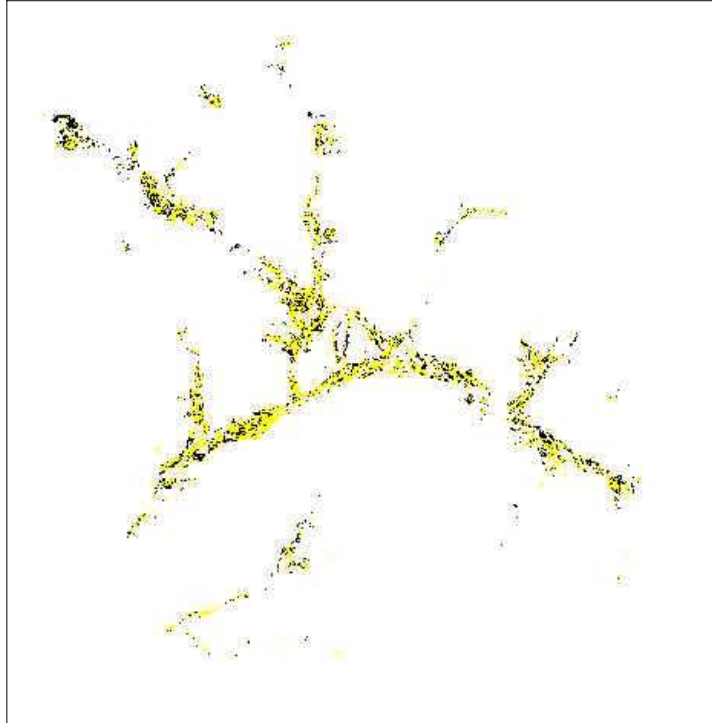
3. 경지면적 통계

- 모집단 정비와 동일한 방법으로 논과 밭의 이용현황도 파악해 볼 수 있다. 현장에서는 실제 농지의 용도전환(논↔밭)이 매우 빈번하게 발생하기 때문에 현행 표본조사가 가지는 표본의 대표성은

매우 취약하다.

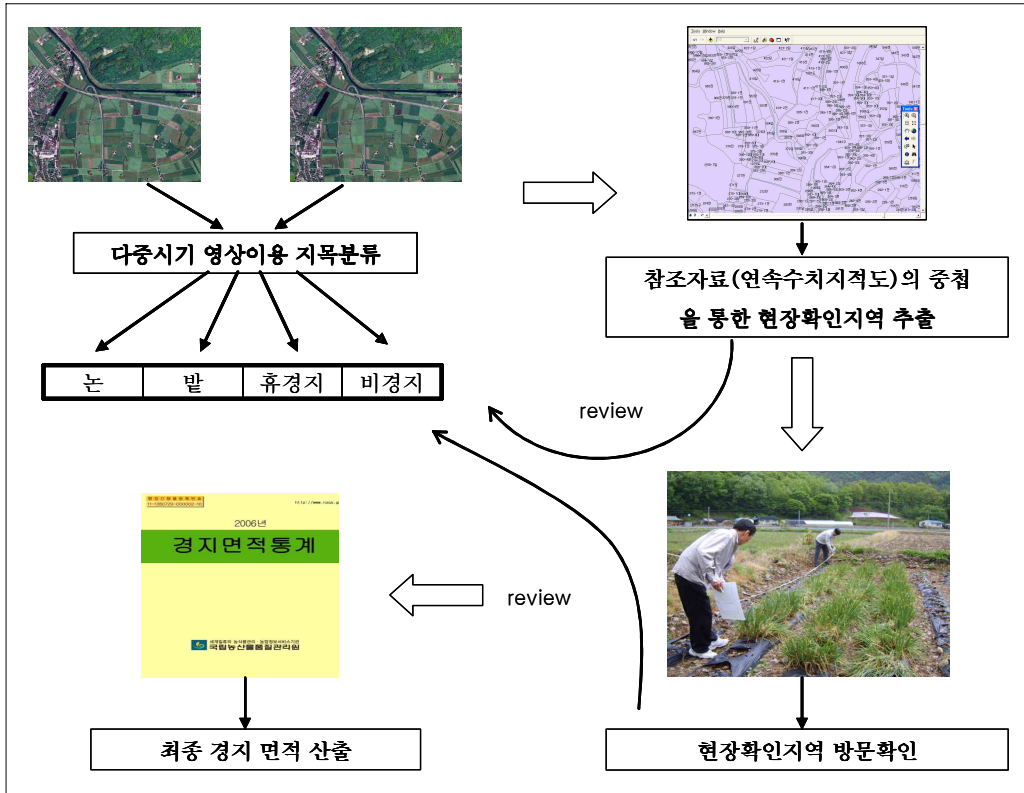
- 본 연구에 이용된 연속수치지적도와 표본 단위구의 현장 조사결과와의 논·밭에 대한 전체 일치도도 약 80%정도에 불과할 정도로 경지의 용도전환은 매우 빈번하게 발생한다. 실제 연속수치지적도의 정보는 현실정보와 매우 상이하다.
- 왜냐하면 연속수치지적도의 정보를 갱신하고 관리하는 지자체에서는 필지의 지목변경에 대한 민원이 접수되는 경우에 한하여 해당 필지의 지목을 변경하기 때문에 실제 현장정보를 실시간으로 정확하게 반영하는 것은 불가능하다고 볼 수 있다.
- 연속수치지적도의 필지정보가 정확하다는 가정 하에 영상판독결과와 중첩시켜보면 다음 <그림 71>과 같다. 노란색은 연속수치지적도상의 정보와 영상판독결과가 모두 논으로 일치한 지역이며 검은색은 연속수치지적도에서는 논임에도 영상판독에서는 밭으로 분류된 지역이다. 이러한 지역들은 현장 방문을 통하여 검증함으로써 보다 정확한 전체 경지면적통계를 추정할 수 있게 된다.

<그림 71> 논·밭 이용 형태의 불일치지역



- 원격탐사기술을 이용한 경지면적통계생산의 체계를 도식화 하면 다음 <그림 72>와 같다. 먼저 다중시기 영상을 이용하여 경지의 각 그룹별로 분류하는 작업을 시행한다. 두 시기 영상의 판독결과를 종합하여 그룹별 경지의 분포와 면적을 산출한 후 연속수치지적도와 같은 참조 자료와의 중첩을 실시하여 불일치 지역을 탐지한다.
- 이때 연속수치지적도보다 전년도 동일 지역의 분류된 영상이 더 신뢰할 만 하다면 전년도 영상과의 중첩도 용이할 것으로 판단된다. 이때 중첩결과를 통해 영상판독결과의 신뢰도가 미흡할 시에는 영상을 재판독 한다.

<그림 72> 원격탐사기술을 이용한 경지면적산출 체계도



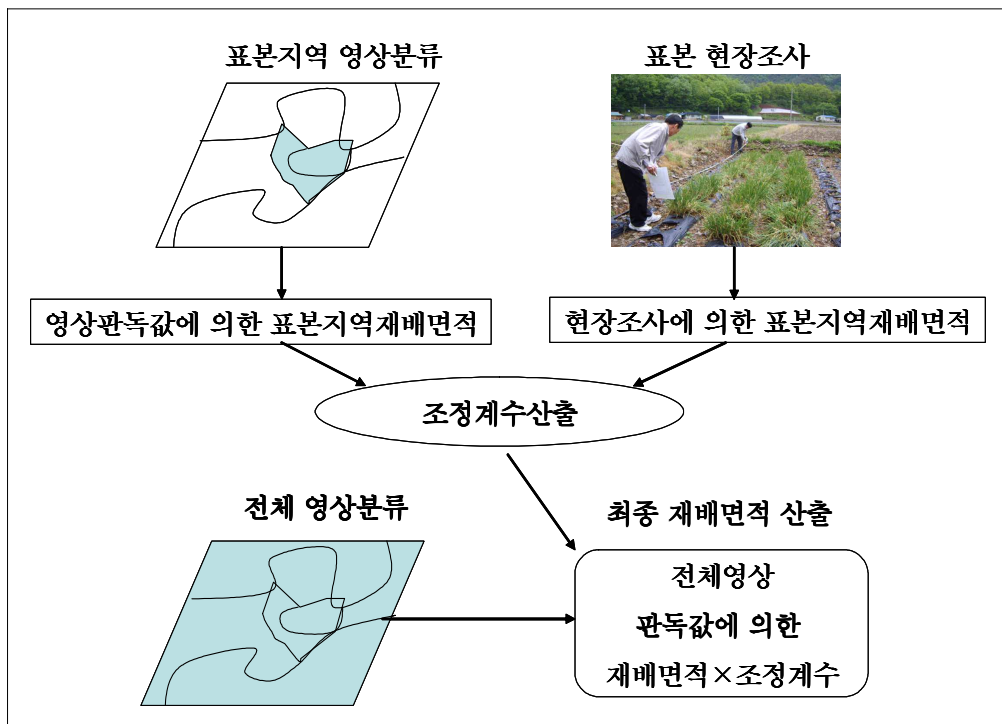
- 참조자료와의 중첩을 통해 경지별로 현장 확인 지역을 추출한 후 해당지역에 대한 현장 조사를 실시한다. 현장조사 결과를 바탕으로 영상 분류의 신뢰도가 미흡할 경우 재 관독을 실시한다.
- 이러한 피드백과정들은 사업이 안정화되고 나면 영상분류와 결과의 해석 등에 대한 노하우를 갖출 수 있게 해 줄 것이다. 현장조사가 마무리 되면 조사결과를 바탕으로 재분류 혹은 최종 면적 통계를 산출한다.

4. 작물재배면적 추정

- 기술적 제약으로 인하여 모든 작물의 재배면적을 원격탐사로 추정하기는 어렵다. 미국의 경우 주요 작물들의 재배면적에 대하여 원격탐사기술을 도입하고 있으나 그 종류가 제한적이며 국내의 경우 재배 작물 당 필지가 매우 조밀하게 모여 있기 때문에 원격탐사로 인해 전 작물에 대한 통계생산을 대체하기에는 많은 시간이 걸릴 것이다(김충실, 2004).
- 이러한 기술적 한계를 차치하고라도 영상의 주기해상도 및 처리 시간을 고려해 볼 때 매년 공식통계발표에까지 허락된 시간 내의 원활한 통계생산은 현재단계에서 매우 어렵다고 볼 수 있다. 본 장에서는 이러한 제약조건이 해결되었을 경우를 가정한 후 RS를 이용한 작물재배면적 추정의 개념적 원리를 제시한다.
- 지상의 동일한 공간객체일지라도 영상의 scene 별로 분광학적 특성이 조금씩 다르게 나타나기 때문에 해당 작물의 면적에 대한 평가는 가능한 한 영상의 각 scene별로 이루어져야 하는데 (Charles day, 2003) 고해상도 위성영상의 경우 한 scene의 관측 폭은 10~15km의 거리를 가지고 있으며 일반적으로 1개 면이 온전히 포함되는 경우가 많기 때문에 통계생산 작업은 면단위로 이루어지는 것이 바람직할 것으로 예상된다.

- 이러한 통계적 추정의 과정을 도식화 하면 다음 <그림 73>과 같다. 먼저 영상내의 분석구역을 설정한다. 그리고 분석구역내의 각 작목별 재배면적을 산출하고 동일지역에 대한 현장전수조사를 통해 각 작목별 실제 면적을 산출하여 두 산출값의 비를 통한 조정계수를 산출한다.

<그림 73> 원격탐사기술이용 재배면적산출 체계도



- 이후 나머지 전체영상을 분류한 후 전체영상내의 각 작목별 픽셀 수에 조정계수를 곱하여 줌으로써 RS에 기반한 각 작물의 재배면적을 추정할 수 있게 된다. 이 방식은 미국의 다양한 통계적

방법론 중 하나인 단순픽셀수조정식(Simple Adjusted Pixel Count Estimator)을 응용한 것인데. 이 방법은 회귀분석에 이용할 충분한 수의 표본지역이 존재하지 않음에도 영상의 분류가 정확히 나타나는 경우에 이용할 수 있다.

- 이미 18개의 선도 농업주(州)에 대하여 원격탐사기술을 이용해 경지 및 작물재배면적통계를 생산하고 있는 미국의 경우 현장과 해당지역 영상의 상황에 맞게 다양한 통계적 공식들을 개발하여 사용하고 있다.

$$\text{해당 작물의 면적} = \lambda \cdot \frac{\text{표본지역영상에서 분류된 해당 작물의 면적}}{\text{표본지역에서 분류된 해당 작물의 면적}} \times \frac{\text{전체 영상에서 분류된 해당작물의 픽셀 수}}{\lambda}$$

λ : 1개 픽셀의 면적

- RS의 기술적 제약과 다양한 제약조건들이 아직 실현가능하지 않은 수준에 머물러 있다 하더라도 작물별 특성에 맞는 다양한 통계적 기법 등에 대한 전문기술은 지속적인 현장 실험 연구를 통해 축적되어가야 할 것이다.

제 8 장 농업통계분야의 RS기술 도입 로드맵

1. RS 기술 도입의 분야별 우선순위

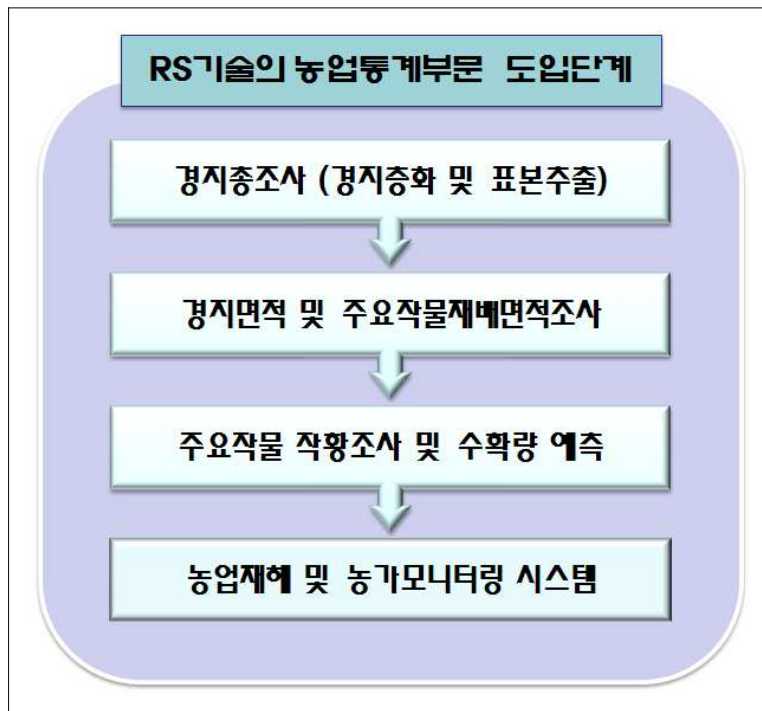
- 최근 RS기술을 농업통계조사에 이용하기 위한 세계 각국의 다양한 접근과 연구가 진행되고 있지만 원천 기술의 제약이나 해당 국가의 농업환경의 특성에 따라 응용가능 범위가 상이하다.
- 현재 전세계적으로 농업부분에 RS기술의 응용을 위해 연구되고 있거나 실제 이용되고 있는 부분을 정리하여 보면 다음과 같다.
 - 토지이용분류 및 경지면적조사(land use/cover)
 - 표본조사를 위한 단위구 구축(area frame construction)
 - 경지별 작물재배면적조사(crop area estimation)
 - 주요 작물별 작황·수확량 예측(yield forecasting)
 - 농업재해조사 및 농촌현장관리(natural disaster observation)
- 토지이용분류 및 경지면적조사는 미국, 유럽, 중국과 같이 RS기술을 실무에 도입하고 있는 대부분의 나라에서 가장 먼저 도입하는 부분이다. 본 연구에서 살펴본 바와 같이 위성영상을 이용하여 토지 및 경지를 층화한 후 각 층별 단위구를 구축하여 표본조사에 활용한다. 이를 통해 표본수의 효율적 감소 및 정확도의 향상을 동시에 달성하고 있으며 이를 위해 자국의 실정에 맞는 통계적 방법론과 전용 솔루션을 확보하고 있다.

- 경지별 작물재배면적조사의 경우 영상판독을 위한 기술적·시간적 비용을 차치하고서라도 RS원천기술의 한계로 인해 전 작물에 대한 영상판독은 한계가 있으므로 이를 실무에 도입하고 있는 국가들도 각국의 주요 작물에 한하여 응용하고 있다.
- 작황관측 및 수확량예측의 경우 EU를 중심으로 하여 많은 연구가 진행되고 있다. 식량안보문제에 대한 정책적 배경을 기반으로 RS연구가 시작된 EU의 경우 유럽전체의 광역적인 지역의 식량상황의 변동을 관측하고 있으며 NOAA 기상위성과 기상모델을 결합한 수확량예측시스템(MCYFS)을 구축하여 실시간 작황 및 수확량관리를 실시하고 있다(김충실, 2004).
- 또한 RS에 기반 한 농업통계시스템이 정착되면 자연재해에 따른 농업재해 산출 및 정부의 각종 농업정책에 따른 농가모니터링의 기능 또한 수행할 수 있다. 현재 EU의 경우 농가들에 대한 보조금 지급에 따른 모니터링 또한 RS를 이용하여 정책기반자료로 사용하고 있다.
- 주요국들의 RS기술 활용실정과 본 연구의 결과를 중심으로 하여 볼 때 RS기술을 처음으로 도입할 수 있는 부문은 ‘토지 및 경지면적조사(land use/cover)’에 해당하는 ‘경지총조사’부문이다.
- 경지총조사를 RS기술을 도입하여 경지를 총화한 후 이를 바탕으로

로 한 효율적 ‘단위구구축 및 표본추출(area frame construction)’로의 응용이 가능할 것이다.

- 다음으로 활용될 수 있는 부문은 작물재배면적조사와 작황관측 및 수확량예측부문이다. 이 분야들은 현재 원천기술의 기술적 한계와 시간적 예산적 제약 등이 극복되기 위해서는 지속적인 연구가 필요하며 도입 가능한 부문부터 순차적으로 적용하여야 한다.

<그림 74> RS기술의 농업통계부문 도입단계



2. 농업통계부문의 RS 기술 도입 방안

- 본 연구의 결과로서 RS기술의 국내 농업통계부문도입의 첫 번째 응용부분으로 도출된 RS기술의 경지총조사 도입을 위한 추진 단계는 다음 <그림 75>와 같다.
- 가장먼저 연구되어야 할 부문은 다양한 시기의 다양한 영상과 판독 알고리즘을 적용하여 국내 주요작물의 분광특성을 탐지하고 분광기법을 이용하여 최대한 작물을 식별해 낼 수 있는 기술과 국내 작물의 RS를 이용한 판독의 가능범위에 대하여 연구하는 것이다.

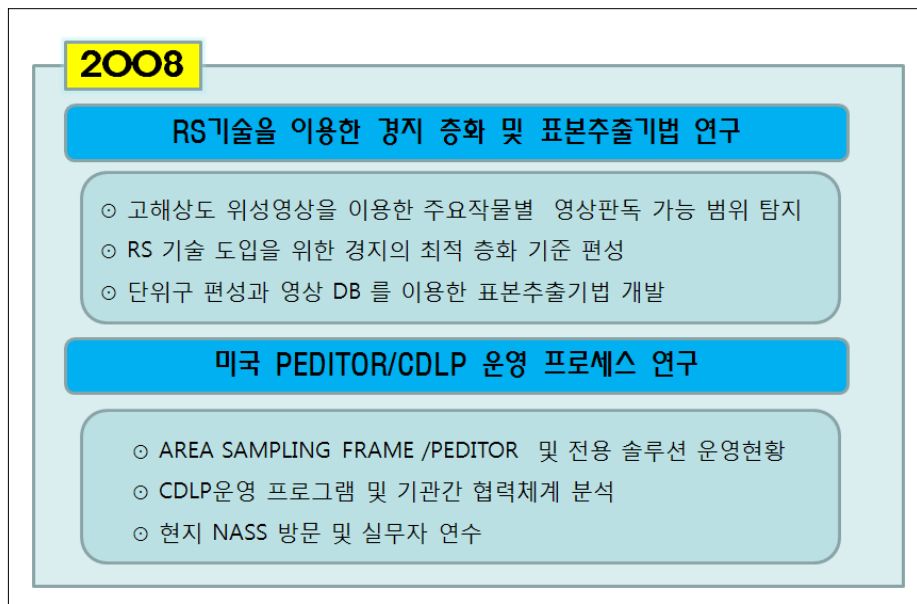
<그림 75> RS기술의 경지총조사도입을 위한 연구추진단계



- 이 단계가 마무리되고 나면 RS기술의 이용을 극대화 할 수 있는 새로운 작물층화체계를 구축하여야 한다. 새로운 층화에 대한 정의가 내려지고 나면 영상을 통한 디지털 단위구의 구축 방법과 현장 표본 단위구를 추출하는 한국형 샘플링 기법에 대한 연구가 추진되어야 한다.
- 이후에는 연구결과를 종합하여 영상처리 및 통계처리를 자동화할 수 있는 자동화 솔루션의 개발이 요구된다. 이미 미국의 PEDITOR, 중국의 CCWS 등은 모두 이러한 연구개발에 의해 개발된 솔루션들이므로 해외사례의 벤치마킹이 요구된다.
- 솔루션이 개발되고 나면 내부테스트인 알파테스트를 통해 시스템을 시운영하고 그 결과를 피드백함으로써 시스템을 보완하는 작업이 이어져야 할 것이다.
- RS를 이용한 경지총조사의 자동화 솔루션의 구축 및 시범운영이 마무리되고 나면 도단위 혹은 권역별로 경지총조사의 자동화사업이 실시되게 되며 이 단계에서도 물론 시스템의 업데이트 및 보완작업이 이어져야 할 것이다.
- 전국의 범위를 최초로 구축하는 데는 상당한 시일이 걸릴 것으로 예상된다. 하지만 최초의 정보가 데이터베이스로 구축되고 자동화솔루션의 운영이 안정화되고 나면 지속적인 정보의 갱신이나 업데이트작업은 용이할 것으로 예측된다.

- 본 연구에서는 현행 농업면적통계 생산업무의 실태, 국내 항공우주기술 인프라 현황 및 선형 도입국들의 사례들을 종합적으로 검토하여 RS를 이용해 농업통계를 혁신할 수 있는 2008년부터 향후 5개년동안의 연구와 추진일정을 다음과 같이 제시한다.

가. 2008년도 추진일정 및 소요예산(추정)



- 2008년도에 추진될 주요 사업은 경지총조사에 RS를 활용하기 위한 연구와 이를 실무에 적용하고 있는 미국의 농업통계국(NASS)를 담당자가 직접 방문하여 연구개발과정과 현행운영현황에 대한 연수과정으로 이루어지며 사업별 구체적 세부 내용은 다음과 같다.

(1) RS기술 이용 경지층화 및 모집단 구축 연구(3개 시·군)

- 경지층조사에 해당하는 작목별 분광탐지 범위를 탐지
 - 국내 농업의 특성상 저해상도 위성(landsat)에 비하여 분광해상도가 다소 낮은 고해상도 위성영상의 활용이 불가피하며 이를 통해 작목별 분광 탐지 범위를 극대화 할 수 있는 기술의 개발
 - 기상조건에 관계없이 지상을 관측할 수 있는 RADAR 위성의 활용방안(레이더위성인 KOMPSAT-5호 실용화 대비)

- 경지층조사에 RS기술의 활용범위를 극대화하기 위한 작목별 분광탐지 범위를 고려한 경지의 최적 층화 편성
 - 경지층조사의 RS대체 범위를 극대화하기 위한 새로운 경지층화 방안연구
 - 조사작물의 분광학적·생육학적 특징을 종합적으로 고려한 층별 통합 및 재편성

- 층화된 영상을 바탕으로 한 최적 단위구 구축 방안 및 digitizing을 통한 데이터베이스 구축방안 연구
 - 해외 주요국들은 층화 영상을 바탕으로 자국의 실정에 맞는 가장 효율적 area sampling frame을 구축하는 나름의 방법론들을 보유하고 있음.
 - 단위구 구축의 디지털화 및 DB관리 방안 연구

(2) 미국 PEDITOR/CDLP 운영프로세스 연구

- RS기술의 농업통계분야 도입을 가장먼저 실시한 미국의 농업통계국을 방문하여 연구개발 역사 및 현행운영에 대한 행정적·정책적 시사점에 대한 현지 교육참가를 통한 실무자연수
 - PSU와 segment의 동시 활용을 통한 최적 단위구 구축 및 샘플링 기법연구
 - PEDITOR 영상처리 및 농업통계산출 전용 솔루션의 개발 및 운영현황에 대한 주요 사항 연수
 - 조사결과를 GIS형태로 무료배포하는 CDLP에 대한 정보화 보급사업에 대한 주요 사항 연수

(3) 소요예산 (추정)

- 2008년도에 추정되는 소요예산은 총 106,062천원이며 사업별 세부 추정비용은 다음<표 27>과 같다.
- 먼저 'RS기술을 이용한 경지층화 및 모집단 구축 연구'사업에는 시범연구지역(3개 시·군지역)의 영상구입비와 연구개발비로 이루어진다. KOMPSAT-2 영상의 경우 국내 공공목적의 경우 scene당 50만원의 비용으로 공급되기 때문에 이를 기준으로 설정하였으며 연구 추진업체(기관)에서 기존의 보유영상과 관련기관의 협조하에 추가적 영상의 획득도 가능할 것으로 판단된다.

- 1차 해외연수는 공무원여비규정에 따른 비용을 책정하였으며 실비를 제외한 현지의 활동비는 상황에 따라 추가적으로 반영될 수 있다.

<표 27> 2008년도 사업 추진예산(추정) (단위 : 천원)

연도	주요사업내용	필요예산	합계
2008	RS기술을 이용한 경지층화 및 모집단 구축 연구	<ul style="list-style-type: none"> •영상구입비 : 500×6장×4시기×3개 지역=36,000 •연구비 및 수용비: 64,000 	100,000
	PEDITER/CDLP 운영프로세스 연구	<ul style="list-style-type: none"> •미국(NASS) : 체제비(3주) 및 항공료 포함 = 6,062 	6,062
2008년 총 추정 예산			106,062

나. 2009년도 추진일정 및 소요예산(추정)

- 2009년의 주요사업은 2008년에 추진되었던 최적층화 및 단위구 구축 연구에 이어 연구결과를 바탕으로 한 시범연구지역에 대한 실제 총조사 실시와 중국의 해외실무연수 및 RS를 실무에 도입하기위한 정보화전략계획(ISP)의 도입 준비로 이루어진다.

2009

RS기술을 이용한 경지총조사 실시(시범연구지역)

- 시범연구지역(도단위)의 위성영상을 이용한 1차 측화 및 현장방문을 통한 2차 측화
- 층별 최적 표본단위구 추출기법 개발

중국 CCWS/2단계 측화추출법 연구

- RS를 이용한 경지 측화 및 샘플링기법 CCWS의 운영현황
- RS를 이용한 주요작물재배면적 산출 기법
- 중국과학원(中國科學院) 방문 및 실무자 연수

RS기술의 실무도입 준비

- RS를 이용한 농업통계생산·보급시스템 구축 ISP(정보화전략계획)
- 관련 기자재 확보(HARD WARE, ERDAS IMAGINE, ARC MAP)
- 농관원 자체 전문인력의 확보

(1) RS기술을 이용한 경지총조사 실시(시범지역 : 도단위)

- 2008년의 연구와 연속하여 이루어지며 전년도 연구결과를 바탕으로 하여 도단위의 시범연구지역을 대상으로 하여 RS를 이용한 1차 측화 및 단위구 구축 후 2차 현장조사를 보완한 시범연구지역의 경지총조사 실시한다.
- 최종 모집단 단위구 구축 후 통계적 효율성을 극대화하는 샘플링 기법 개발동시 추진

(2) 중국 CCWS/2단계 총화추출법 연구

- 1998년이래로 RS를 실무에 도입하고 있는 중국농림부와 시스템을 개발한 중국과학원(中國科學院, Chinese Academy of Science)을 방문한 실무자 연수
 - 작물재배면적·관측에 이용하고 있는 중국 작물관측시스템(CCWS : China Crop Watch System)의 개발 및 운영현황
 - 작물재배면적 비율(crop type proportion)에 근거한 2단계 경지총화 방법 습득

(3) RS기술의 실무도입준비

- RS의 중장기적 도입을 위한 정보화전략계획(ISP) 추진
 - RS기술에 기반한 국가 농업통계 RS정보시스템의 구축을 위한 ISP용역시행
- 영상처리 및 지리정보데이터를 운영할 수 있는 기자재의 확보(hardware, software)
- 농관원 내 RS통계 전담부서 편제
 - RS도입의 실무적도입을 위해 연구와 정책입안을 동시에 추진할 수 있는 RS통계 전담팀의 구성
 - 농업경제학, 원격탐사학, 통계학의 각 분야의 전문가들로 구성

(4) 소요예산(추정)

- 2009년도의 추정되는 소요예산은 총 779,909천원이며 2008년도에 이어 도 단위로 확대되어 RS로 경지총조사를 실시하는 연구에 500,000천원이 소요될 것으로 보인다. 도 단위 시범연구지역의 영상구입비는 충청남도를 기준으로 4시기의 KOMPSAT-2영상을 공급받는 것으로 가정하여 80,000천원의 KOMPSAT-2영상구입비를 산출하고 보조 영상으로 1m급의 고해상도 영상구입비로 120,000천원을 책정하였다.
- 현장조사비는 150,000천원으로 책정되었는데 농관원 출장소의 협조를 얻어 수행함으로써 경비내에서 수행이 가능할 것으로 보인다. 담당공무원의 2차 해외연수(중국과학원)의 경비는 3,409천원으로 책정되었다.
- 또한 정보화 전략계획(ISP)추진 용역비가 150,000천원으로 책정되었으며 RS 실무도입을 위한 농관원 본원의 기초 Hardware와 Software 구입비로 126,500천원이 소요된다.

<표 28> 2009년도 사업 추진예산(추정)
(단위 : 천원)

연도	주요사업내용	필요예산	합계
2009	RS기술 이용 경지총조사 (시범연구지역)	<ul style="list-style-type: none"> •영상구입비 : <ul style="list-style-type: none"> - KOMPSAT-2 : 500×40×4시기 =80,000 - 보조영상 : 120,000 •현장 조사비 : 150,000 •연구비 및 수용비: 150,000 	500,000
	층화추출법 연구 /CCWS-GVG	<ul style="list-style-type: none"> •중국(중국과학원) : 체제비(3주) 및 항공료 포함 = 3,409 	3,409
	ISP용역	<ul style="list-style-type: none"> •연구 용역비 : 150,000 	150,000
	기자재 확보	<ul style="list-style-type: none"> •기자재 확보 : <ul style="list-style-type: none"> - H/W(workstation, GPS, GIS장비)=9,500, - S/W(Arcinfo, Imagine관련모듈) = 117,000 	126,500
2009년 총 추정 예산			779,909

다. 2010년도 추진일정 및 소요예산(추정)

- RS도입의 실무적 도입방안인 2010년도의 사업내용은 2009년에 계획된 ISP의 착수와 2010년에 RS를 이용하여 구축된 표본들을 이용한 경지·재배면적통계생산과 EU로의 3차 해외실무연수로 이루어진다.

2010

RS기술을 이용한 경지총조사 실시(시범연구지역)-<계속>

- RS를 이용해 추출된 층별 표본단위구 활용 경지·재배면적 산출값과 총조사에 기반한 표본을 이용한 해당 통계값의 상관관계 비교

EU LUCAS 증화 및 point sampling 기법연구

- RS를 이용한 경지증화 및 샘플링기법(LUCAS)
- RS를 이용한 작황관측 및 수확량 예측 시스템(MCYFS)
- EU/JRC방문 및 실무자 연수

(1) RS 활용 표본단위구 구축 및 경지·재배면적통계 생산

- 2009년의 연구로 구축된 시범연구지역내의 표본 추출 및 RS이용 표본 단위구를 이용한 면적통계 산출
 - 신표본의 개수가 기존의 방식으로 구축된 표본의 개수보다 훨씬 작을 것으로 예측되며 총조사 사업으로 인한 전통적방식으로 추출된 신표본 간의 비교 분석

(2) EU LUCAS 증화 및 point sampling기법 연구

- 1988년이래로 RS의 농업분야 활용 연구가 활발히 이루어진 EU의 연구전담기관인 JRC(joint research centre) 방문 및 실무자 연수
 - 현재에도 계속진행중인 area sampling frame 구축사업인 LUCAS의 주요시사점 연수
 - 점추정(point sampling survey)에 기반한 표본단위구 추출 및 관측기법 연수
 - 기상모델과 위성영상을 결합한 수확량예측시스템인 MCYFS의 주요내용 연수

(3) 소요예산(추정)

- 2010년에 소요될 총 추정 예산은 약 306,062천원이며 2009년의 시범연구지역의 RS 총조사의 연구와 연속한 RS이용 표본 추출 및 통계 생산 연구에 300,000천원의 예산이 소요된다. 기존의 숙련된 농관원 현장 조사요원들을 활용할 경우 경비절감과 효율성을 동시에 향상시킬 수 있을 것이다.
- 3차 해외연수로 EU JRC로의 출장은 공무원여비규정에 따라 6,062천원으로 책정하였으며 추가적 활동비는 필요에 따라 반영될 수 있다.

<표 29> 2010년도 사업 추진예산(추정) (단위 : 천원)

연도	주요사업내용	필요예산	합계
2010	RS 이용 표본 추출 및 면적통계 생산	•현장조사비 : 150,000 •연구비 및 수용비: 150,000	300,000
	LUCAS /점추출법연구	•유럽(EU JRC) : 체제비(3주) 및 항공료 포함 = 6,062	6,062
2010년 총 추정 예산			306,062

라. 2011년도 추진일정 및 소요예산(추정)

- 2011년도에는 2010년도에 시작되어 진행 중인 정보화전략계획 사업의 지속과 RS를 경지총조사 및 표본샘플링 뿐만 아니라 주요 작물의 재배면적 및 작황을 관측하는데 활용하기 위한 시범연구의 시작으로 이루어진다.

2011

국가 농업 통계 RS정보 시스템 구축 사업

- 시범연구결과를 바탕으로 한 농업통계 RS정보시스템 개발
 - 영상판독 및 통계처리 전용 솔루션
 - 농업통계 GIS 정보시스템 구축
 - 정보시스템 이용 통계산출 보급 시스템 구축
- 국내실정에 맞는 영상판독기술 및 통계처리기법 지속 연구

(1) RS를 이용한 국가 농업 통계 RS정보시스템 구축 사업

- 연구용역결과를 바탕으로 한 농업통계 영상처리 및 통계생산 전용 솔루션의 개발
 - 4차에 걸친 (2005.2007.2008.2009) 연구용역결과를 바탕으로 한 한국형 농업통계 전용 솔루션의 개발(영상처리 및 표본샘플링기능보유)
 - 영상처리 및 단위구 구축 자료를 저장하고 활용할 수 있는 GIS 기반의 시스템 개발
- RS를 통해 산출된 통계값을 비롯한 각종 정보들을 공유하고 보급할 수 있는 시스템의 개발
 - RS를 실무에 도입하고 있는 대부분의 국가들은 RS 및 현장조사를 통해 획득된 통계정보들을 Web 혹은 bulletin을 통해 필요기

관 및 민간에 시각적 자료로 배포하고 있음. 이를 벤치마킹하여 농업통계정보를 시각적인 자료로 배포할 수 있는 시스템을 구축하여야 함

- 정보시스템의 개발과 아울러 RS를 이용한 한국형 단위구 구축 및 표본설계에 대한 연구가 지속적으로 추진되어야 함

(2) 소요예산(추정)

- 2011년도 사업을 위한 예산은 약 1,500,000천원으로 추정되며 RS 정조시스템관련 전용 솔루션과 시스템을 개발하는데 1,400,000천원이 투자되며 한국형 단위구 구축과 샘플링 기법에 대한 추가적 실험연구에 100,000천원이 투자된다.

<표 30> 2011년도 사업 추진예산(추정) (단위 : 천원)

연도	주요사업내용	필요예산	합계
2011	RS정보시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> •영상판독 및 통계처리 전용 솔루션개발 : 연구개발비=700,000 •농업통계산출 보급시스템 개발: 연구개발비=700,000 •한국형 단위구 구축 및 샘플링개발연구 : 100,000 	1,500,000
2011년 총 추정 예산			1,500,000

마. 2012년도 추진일정 및 소요예산(추정)

- 2012년도에는 정보화전략계획사업을 통해 개발된 영상처리 및 농업통계생산 솔루션을 이용하여 권역별 경지층화 및 단위구 구축 작업이 시작되며 RS의 농업통계부문 활용범위의 확대를 위한 추가적인 연구가 지속된다.

2012

국가 농업통계 RS정보시스템 실용화 사업

- 농업 통계 RS정보시스템 구축완료 및 알파테스트
 - 기존 영상자료 및 통계값을 이용한 시범운영
 - 시범운영결과 피드백 및 RS정보시스템 구축완료
- 농업 통계 정보시스템의 보급 및 확대를 위한 계획수립

(1) 국가 농업통계 RS정보시스템 실용화 사업

- 농업 통계 RS 정보시스템의 구축완료 및 내부테스트(α -test) 실시
 - 솔루션 개발완성 및 과거 자료이용 시범운영
 - 영상처리 및 단위구 구축 자료를 저장하고 활용할 수 있는 GIS 기반의 시스템의 완성 및 시범운영
 - 내부테스트 결과를 바탕으로 한 피드백과정 및 실용화 준비
- 경지면적 및 주요작물재배면적에 대한 통계값을 비롯, 각종 정보들을 공유하고 보급할 수 있는 시스템의 완성 및 시범운영
 - 2010년 통계자료의 입력 및 시범운영(Web 혹은 보도 자료의 형태)
- 구축된 농업 통계 RS정보시스템의 실용화를 위한 계획수립
 - 영상취득의 용이성 등을 고려할 때 행정구역별이 아닌 권역별로

최초의 영상판독 및 경지층화 작업이 이루어짐

- 영상획득에 최소 1년이 소요되며 현장 확인 2차 층화와 함께 표본단위구 추출까지 총 2년이 소요될 것이며 권역별로 최초의 정보가 생산하기 위해서는 중·장기적 계획을 수립하여야 함.

(2) 소요예산(추정)

- 2012년의 사업추진에 따른 추정예산은 1,500,000천원이며 2011년에 이어 RS정보시스템들의 구축작업이 완료되는데 따른 연구개발비로 대부분의 예산이 소요된다. 내부적 시범운영 등의 경우 담당공무원들에 의해 이루어질 것이므로 별도의 추가 비용은 반영하지 않았다.

<표 31> 2012년도 사업 추진예산(추정) (단위 : 천원)

연도	주요사업내용	필요예산	합계
2012	RS정보시스템 개발	<ul style="list-style-type: none"> •영상판독 및 통계처리 전용 솔루션개발 : 연구개발비=750,000 •농업통계산출 보급시스템 개발: 연구개발비=750,000 	1,500,000
2012년 총 추정 예산			1,500,000

바. RS의 농업부문도입을 위한 5개년계획 종합

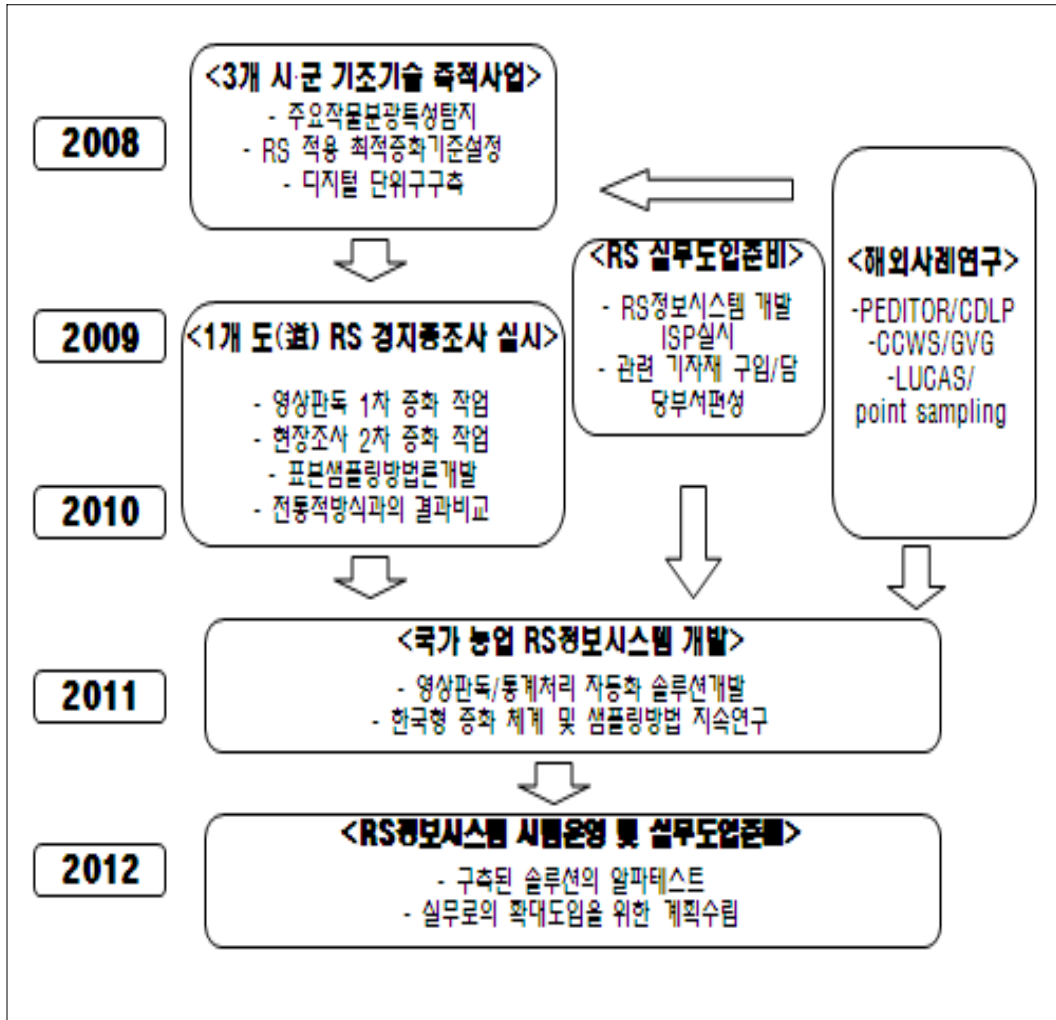
- 이상에서 살펴본 RS기술의 농업통계부문도입을 위한 5개년 계획의 일정을 종합해 보면 다음<표 32>와 같이 나타낼 수 있다. 먼저 1년차에 RS기술을 이용한 증화가능 범위와 RS이용을 극대화하기위한 한국형 신증화 설계가 연구된다.
- 그리고 2년차부터 3년차까지 농관원에서 실시할 전통적 방식의 경지총조사와 함께 그동안의 연구의 결과들을 바탕으로 하여 RS를 이용하여 시범연구지역에 대한 경지총조사를 시행한 후 농관원의 총조사결과와 결과를 비교한다.
- 또한 RS에 기반한 총조사와 샘플링에 대한 전체적인 작업들이 자동화될 수 있도록 RS농업정보시스템의 구축을 위한 ISP사업이 2년차에 이루어진 후 4년차부터 있을 정보시스템개발사업을 준비한다.
- 2년차에 농관원 내부적으로는 RS사업을 주관할 전담부서의 신설 및 관련기자재의 구입 등 RS를 실무적으로 도입하기위한 hardware를 구축한다.

<표 32> 연도별 추진 일정표

사업내용	2008		2009		2010		2011		2012	
	1/2	2/2	1/2	2/2	1/2	2/2	1/2	2/2	1/2	2/2
RS이용 증화연구										
PEDITER/CDLP										
RS 경지총조사										
ISP용역										
기자재확보										
CCWS/GVG										
LUCAS										
정보시스템개발사업										
정보시스템 실용화준비										

- 4년차와 5년차에는 RS농업정보시스템을 개발하고 이를 실용화하기 위한 내부적 시범운영을 실시한다. 5년차에서 내부적 시범운영 후 운영상의 문제점 및 추가적 연구사항 등을 피드백하여 향후 실무에 도입하기 위한 준비를 완료한다. 이상과 같은 연구 추진도를 도식화하여 보면 다음 <그림 76>과 같다.

<그림 76> RS기술 경지총조사도입 추진도



◦ 이상과 같은 사업을 추진하기 위한 총예산(추정)은 약 42억원이되며 이는 연구내용 및 각사업의 진행에 따라 다소 달라질 수 있다(표 33).

<표 33> 연도별 사업예산(추정)

(단위 : 천원)

연도	사업내용	추정예산	연도별 총예산
2008	RS이용 증화연구	100,000	106,062
	PEDITER/CDLP	6,062	
2009	RS 경지총조사	500,000	779,909
	ISP용역	150,000	
	기자재확보	126,500	
	CCWS/GVG	3,409	
2010	RS 경지총조사	300,000	306,062
	LUCAS	6,062	
2011	정보시스템개발사업	1,500,000	1,500,000
2012	정보시스템구축 및 실용화준비	1,500,000	1,500,000
총예산			4,192,033

제 9 장 요약 및 결론

1. 연구의 목적

- 농업통계는 농업이 가지는 다원적 기능으로 인하여 국가의 식량 정책 뿐만 아니라 정치·경제·군사안보·환경보전 등에 관한 정책을 수립할 때 중요한 기초자료로서 이용된다. 특히 경지면적 통계는 국가 식량산업의 기반인 토지자원의 확보와 관리 그리고 지속적 농업생산력의 보전을 위해 매우 중요한 자료를 제공한다.
- 또한 작물재배면적통계는 주요작물들의 재배동향과 수급량을 예측하는데 이용이 되며 정부관계자에게는 농산물의 수급 및 가격 대책, 재배기술지도 등의 각종 농업시책 자료로, 생산자에게는 작물재배계획 수립 자료로, 학계·연구기관에게는 학술연구자료 등으로 활용된다(홍석영 외, 2001).
- 우리나라의 경우 경지면적과 작물재배면적통계는 국립농산물품질관리원에서 생산하고 있다. 매 10년을 주기로 경지총조사가 이루어지며 이때 구축된 모집단을 바탕으로 표본 단위구가 추출된다²³⁾. 경지총조사의 주기가 매우 길기 때문에 급변하는 농업의 국내외 환경을 실시간으로 반영하기가 어렵다.

23) 2009년부터 5년을 주기로 하는 경지총조사 계획이 수립되어 있음

- 본 연구의 목적은 다음과 같다.
 - 기본목표 : 원격탐사기술을 농업통계조사 업무에 활용할 수 있는 방안을 제시하고 현장 시범연구를 통해 이를 검증하여 봄으로써 해당기술의 기술적·정책적 실용화 기반을 마련함.
 - 부속연구목표 1 : 주요 선진국별 농업통계분야 원격탐사기술 응용현황 심층조사
 - 부속연구목표 2 : 기존농업통계산출업무 분석 및 원격탐사기술을 통한 개선점 제시
 - 부속연구목표 3 : 현장시범연구를 통한 해당기술의 실용화 가능성 검토 및 시사점 도출
 - 부속연구목표 4 : 기존통계와 원격탐사통계의 연계방안 제시
 - 부속연구목표 5 : 원격탐사기술 농업통계활용의 정책적 장·단기 로드맵 제시

2. 국내 농업통계 생산 현황조사

- 우리나라는 1973년 이래로 표본설계를 통한 경지면적 및 작물재배면적통계생산을 실시하여 왔다. 농업기반 환경의 변화와 주요 작물의 작부체계의 변화를 반영하기 위하여 이후 약 10여년을 주기로 3회의 표본재설계가 있었으며 2007년 현재에는 2005년 구축된 표본으로 표본조사가 실시되고 있다.

- 구축된 모집단은 작물재배현황에 따라 총 11개의 층으로 층화된 후 각 층별로 비율에 맞게 표본 단위구가 추출되며 특수작목의 통계를 반영하기 위하여 주산지 추가표본은 별도로 확보하여 조사를 한다.
- 경지면적통계는 매년 11월 제5회 작물재배면적 통계 조사시 함께 병행하여 조사하게 되며 재배면적통계는 작물의 생육상황에 따라 연간 5회에 걸쳐 조사하게 된다.
- 통계 추산 방법은 각 시·군별로 전년도 통계값에 표본단위구내의 변화 비율을 증감시켜준 후 대단위 경지 혹은 재배면적의 증감으로 인한 전수조사값을 증감시켜주어 추산하게 된다. 각 시·군별 통계값은 각 도 및 전국단위로 합계되어 통계값을 생산하게 된다.
- 현행 면적통계는 근본적으로 표본조사로 이루어지기 때문에 표본조사에서 오는 많은 문제점을 가지고 있다. 또한 표본설계 자주 이루어지지 못하고 약 10여년을 주기로 이루어지기 때문에 모집단을 이루는 표본편성 자체가 급변하는 경지상황의 변화와 작부체계의 변화를 반영하는 데는 많은 무리가 있다.
- 또한 현행 면적통계생산은 최소 시·군단위로 생산되기 때문에 기초지방자치단체에서 필요로 하는 면단위 혹은 동단위의 세밀한 통계의 생산·보급이 불가능하다. 이러한 통계는 중앙정부가 정책수행 및 정책방향을 설정하는 통계로는 적합하나 지역사회 농

업발전에 대한 기여도는 낮다고 볼 수 있다(김충실, 2004).

3. 해외 농업통계의 RS이용 현황

- 1970년이래로 미국은 농업통계생산부분에 원격탐사기술을 적극 도입하여 왔다. 수십 년 간의 실험과 연구를 통하여 현재는 주요 농업 생산주(state)들의 대부분이 원격탐사를 이용한 작물별 재배 면적을 추정하고 있으며 이렇게 추정된 정보들은 GIS형태의 인터페이스로 만들어져 민간에 공급되고 있다.
- 미국의 원격탐사기술 응용 사례에서 찾아 볼 수 있는 시사점들을 정리해 보면 다음과 같다. 첫째, Area sampling frame 구축시 1차적으로 영상분류를 통하여 토지피복도를 층화하여 이에 맞추어 단위구를 편성하는 것은 항공사진 및 현장조사만을 이용하여 육안으로 수행하는 작업에 비해 정확도의 향상을 가져올 뿐만 아니라 작업도 훨씬 용이하게 이루어 질 수 있다.
- 둘째, NASS는 내부적으로 PEDITOR 소프트웨어를 개발하여 왔다. 이 소프트웨어 내에는 위성영상의 처리기능부터 면적통계 생산을 위한 다양한 알고리즘까지 내재되어 있어 자동적으로 현장조사데이터와 연계된 면적 추정값을 생산할 수 있도록 되어 있다.
- 셋째로 작물의 재배면적 통계를 위해 연구지역의 영상상태 혹은

현장상황의 여러 조건에 따라 다양한 통계적 기법들이 연구되어 왔으며 이러한 통계적 추정과정에서 발생하는 모든 영상처리결과와 계량적 통계값들이 CDLP에 의해 시각적인 자료로 민간에 배포되어 농업인, 농업관련기관 및 대학과 연구소에서 다양하게 이용되고 있다.

- EU의 RS기술 이용부분은 Area sampling frame을 구축 시 토지 분류(층화)작업에 이용 하여 7개의 층으로 구분하고 있다 현재에는 항공정사사진 및 Landsat-TM(SPOT)을 이용하며 분류의 정확도 향상을 위해 공간해상도 1m이하의 위성영상의 이용방안을 연구 중이다.
- 관측구역 전 지역을 UTM좌표에 의거한 일정간격의 격자구조로 구분한 후 PSU와 SSU를 일정하게 배열한 점추출법(point area frame survey)에 의해 표본을 추출하여 표본추출 비용을 감소시키고 있으며 현행 경지조사사업인 LUCAS 사업을 통하여 EU의 인문지리학적 실정에 맞는 표본추출법과 영상판독기술에 대한 지속적인 연구를 지속하고 있다
- 중국은 현행 조사체계의 비과학성을 극복하고 RS에 의한 과학적 농업통계생산을 개발하기 위해 많은 연구와 투자를 실시하여 왔다. 중국과학원(中國科學院)을 중심으로 하여 넓은 국토에 걸쳐 나타나는 다양한 기후와 지역별 윤작형태를 반영한 RS를 이용한 표본조사기법을 개발하여 시범운영을 실시하고 있다.

- 이 외에도 RS를 국가농업통계에 응용하기 위한 많은 인프라와 관련기술들이 축적되어 있으며 RS기술을 이용해 자국의 농업구조와 체계를 반영한 표본설계방법과 표본추출방법 및 전용 솔루션의 개발은 연구단계에 있는 국내에 많은 시사점을 주고 있다.
- 일본의 경우 이미 농림수산성과 우주항공연구개발기구간의 협력체제로 자국위성(ALOS-다이치)을 농업부문에 이용하기 위한 프로젝트를 수행 중이다. 'SIDaB'를 통해 농림분야기관 간 영상공유 시스템을 체계화해 이용 중에 있다.
- 기후조건 등과 같은 제약조건으로 인해 농업통계부문에 RS기술을 도입하기 위한 연구보다는 관련기술을 축적하고 토지이용GIS와 같은 데이터베이스의 정보갱신 등에 RS를 이용하기 위한 연구등이 주를 이루고 있다

4. 고해상도 위성영상을 이용한 현장실험

- 국내 농업의 특성과 국내 우주항공 인프라를 고려할 때 원격탐사 기술도입을 위해서는 기본적으로 고해상도 위성영상의 이용이 필요하였다. 본 실험을 위해 획득할 수 있었던 영상은 KOMPSAT-2호의 2007년 6월과 9월에 각각 촬영된 2시기 영상이었으며 두 영상의 촬영지역이 달라 각각 실험이 진행되었다.

- 2007년 6월 담수기에 촬영된 KOMPSAT-2호 영상은 아직 작물이 성장하지 않고 있을 시기이므로 경지면적추정실험을 실시하였으며 9월에 촬영된 영상은 작물이 만개한 시기로써 벼 재배면적 추정을 위한 실험에 이용하였다.
- 영상의 감독분류 결과 연속수치지적도상의 실험지역의 총경지면적과 비교한 결과 두 방법모두 94%이상의 정확도를 나타내었다. 하지만 논외의 경우 과소평가되었으며 밭의 경우는 과대평가되어 나타났다. 오차의 원인과 현장 상태를 확인하기 위하여 2차적으로 영상촬영시기에 실시된 작물재배면적조사표를 이용하여 총 132개 필지에 대한 현장정보와의 검증작업을 실시하였으며 오분류의 원인으로서는 휴경지, 재배준비, 기타작물재배 등으로 나타났다.
- 2007년 9월 작물 만개기에 촬영된 영상을 이용하여 벼재배면적을 추정하여 보았다. 경지이용 상황을 벼재배필지와 기타작물재배필지, 과수 그리고 시설작물의 4개의 클래스로 나누어 각각의 훈련지역을 추출하였으며 영상의 분류결과의 평가를 위해 비경지도 산림, 수역, 인공구조물, 백사장 등의 4개의 클래스로 나누었다.
- 감독분류결과 가장 정확도가 높게 나타난 방법은 평행사변형법으로 나타났으며 분류결과에 따른 논벼재배필지의 면적은 약 238.5ha로 나타났다. 이 분류결과값과 비교될 행정통계의 부재로 인해 오차행렬을 이용하여 분류정확도를 검증하였으며 논벼재배

필지에 대한 생산자정확도와 사용자정확도는 92.8%와 95.1%로 각각 나타났다.

- 하지만 단일시기의 영상을 이용함으로써 논벼필지와 기타작물간의 오분류가 많이 일어났으며 이를 위하여 다중시기의 영상을 이용한 후속연구가 추진되어야 할 것이다. 또한 하나의 클래스로 묶여 처리된 기타작물 클래스를 세분화 할 수 있는 다중시기 영상과 다양한 판독기법을 적용하는 향후연구가 추진되어야 할 것이다.

5. RS기술의 국내도입방안 및 로드맵

- 본 연구 결과에 비추어 볼 때 RS기술의 국내농업통계부문도입의 우선순위는 경지총조사에 이용하는 것이다. 해외의 경우 RS기술을 이용한 area sampling frame 기법을 이용해 모집단을 설계하고 현장조사 할 표본 단위구를 추출한다.
- RS 기술을 이용하여 경지총조사를 시행한 후 이를 바탕으로 단위구를 구축할 때 얻을 수 있는 효용은 다음과 같다. 먼저 현행 경지 총조사 주기인 10년이 5년 이내로 줄어들 수 있다. 영상의 획득 주기와 영상처리 담당자의 숙련도 등을 고려하면 이 주기는 더욱 짧아질 수 있다.
- 둘째 조사원들의 목측에 의한 편의가 줄어든다. 즉 여러 조사원

들로부터 오는 다양한 관측오차 등이 줄어들고 일정한 오차 범위 내에서 전수조사 할 수 있게 된다.

- 셋째로 경지총조사에 대한 자료가 시각적 자료로 데이터베이스화 되어 다양한 목적으로 활용가능하다. 증화된 영상을 바탕으로 경지이용 목적이 유사한 필지끼리 묶어 단위구의 동질성을 높일 수 있게 된다. 따라서 표본의 효율적 편성과 정확도의 향상을 동시에 꾀할 수 있다. 또한 경지총조사가 시행될 때마다 경지의 이용상태 변화 등을 쉽게 탐지할 수 있게 된다.
- RS기술을 현행 증화체계에 그대로 적용하기 위해서는 현재의 원격탐사 기술로는 한계가 존재하기 때문에 기존의 현장답사를 통한 조사도 일부 병행되어야 한다. RS기술의 의존도를 높이기 위해서는 현행 증화체계의 기준을 좀더 RS 기술에 적화 될 수 있는 방향으로 조정하는 향후연구가 추진되어야 할 것이다.
- RS를 이용한 경지총조사 및 표본추출의 과정을 손쉽게 할 수 있는 ‘국가 농업통계 RS 정보시스템’의 개발이 요구된다. 미국의 경우 PEDITOR란 전용 S/W를 개발해 영상처리부터 통계처리까지 하나의 솔루션으로 이용하고 있으며 중국의 경우 중국 작물관측 시스템(CCWS)하에서 RS를 접목하기 위한 GVG시스템 등과 같은 전용솔루션을 개발·운영하고 있다.
- 이를 추진하기 위한 RS기술의 농업통계부문도입을 위한 5개년 계

획의 일정을 종합해 보면 다음과 같다. 먼저 1년차에 RS기술을 이용한 증화가능 범위와 RS이용을 극대화하기위한 한국형 신증화 설계가 연구된다.

- 그리고 2년차부터 3년차까지 농관원에서 실시할 전통적 방식의 경지총조사와 함께 그동안의 연구의 결과들을 바탕으로 하여 RS를 이용하여 시범연구지역에 대한 경지총조사를 시행한 후 농관원의 총조사결과와 결과를 비교한다.
- 또한 RS에 기반한 총조사와 샘플링에 대한 전체적인 작업들이 자동화될 수 있도록 RS농업정보시스템의 구축을 위한 ISP사업이 2년차에 이루어진 후 4년차부터 있을 정보시스템개발사업을 준비한다.
- 2년차에 농관원 내부적으로는 RS사업을 주관할 전담부서의 신설 및 관련기자재의 구입 등 RS를 실무적으로 도입하기위한 hardware를 구축한다.
- 4년차와 5년차에는 RS농업정보시스템을 개발하고 이를 실용화하기위한 내부적 시범운영을 실시한다. 5년차에서 내부적 시범운영 후 운영상의 문제점 및 추가적 연구사항 등이 피드백 되어 향후 실무에 도입하기위한 준비를 완료한다.
- 또한 1년차에서 3년차에는 담당공무원의 해외연수를 꾸준히 추진하여 해외의 핵심기술을 습득하여 한국의 실정에 맞는 정책적 추

진방향을 수립하게 하는 것도 매우 중요하다.

- 이상과 같은 사업을 추진하기 위한 총예산(추정)은 약 42억원으로 추정되었으며 이는 연차별 연구내용 및 각사업의 진행에 따라 다소 변동이 있을 수 있다.

참 고 문 헌

- 「면적통계 조사요령」, 국립농산물품질관리원, 2007.
- 김충실, 「항공우주기술의 농림분야 활용방안 연구」, 농림부, 2005.
- 김충실, 「GIS와 농업경제」, 동아출판사, 2000.
- 엄정섭, 「디지털시대의 원격탐사」, 경북대학교 출판부, 2004.
- 강준목, 윤희천, 엄대용, 강영미, “수치지도와 지적도간의 정합정확도 확보방안”, *The journal of GIS Association of Korea* 11(4), 2003.
- 구자민, 홍석영, 윤진일, “NOAA-ANHRR 자료를 이용한 1km 해상도 벼논 피복의 간이분류기법”, 한국농림기상학회지 3(4), 2001.
- 김충실, 박재화, “원격탐사기술의 농업통계분야 도입방향”, 농촌경제 29(2), 2006.
- 사공호상, 임정호, “IKONOS영상의 토지피복분류 방법에 관한 실증연구”, 한국지리정보학회지 6(3), 2003.
- 장갑수, 홍석영, 임상규, “원격탐사에 의한 녹지피복분류 기법 개발”, .
- 장동호, 김민규, “IKONOS 영상자료를 이용한 토지피복도 개선”, *The journal of GIS Association of Korea* 11(2), 2003.
- 조길호, 조장식, 김상룡, 이우동, “잭나이프 방법을 이용한 비추정”, 한국통계학회논문집 4(1), 1997.
- 홍석영, “원격탐사자료를 이용한 벼 생육정보 분석 및 벼 재배면적 추정”, 경북대학교 농학박사 학위논문, 1998.
- 홍석영, 임상규, 이규성, 조인상, 김길웅, “Landsat-TM영상을 이용한

- 당진군 일원의 논면적 추정”, 한국농림기상학회지 3(1), 2001.
- 홍성현, 이동현, 박수홍, “고해상도 위성영상과 수치지형도를 이용한 지목 불부합도의 측정”, *The journal of GIS Association of Korea* 12(1), 2004.
- ERDAS *Field Guide(6th edition)*, Erdas LLC.
- Allen, J. D., and Hanuschak, The remote sensing applications program of the National Agricultural Statistics Service : 1980-1987. NASS Staff report SRB-88-08, 1988.
- Bingfang Wu, Li Quangzi, Crop Area Estimation Using Remote Sensing on Two-Stage Stratified Sampling, Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, 2004.
- Chhikara, R. S., McKeon, J. J. Error Alaysis of Crop Acreage Using Satellite data, *technometrics*, Vol.28. No 1, 1986.
- F. J. Gallego, Crop Area Estimation in The MARS Project, *Conference on ten years of the MARS project*, 1999.
- Guide to the Sample Survey and Census Programs of NASS, USDA, 2005.
- George A. Hanuschak and Rick Mueller, Cost and Benefit Analysis of a Cropland Date Layer, NASS Research report, 2002.
- George A. Hanuschak and Rick Mueller, Investigation of Very High Resolution Spaceborne Imagery for Citrus Tree Counting, Pilot Research Project of NASS and the Florida Agricultural Statistics Service, 2003.

- Jianhua Zhao, Kaifen Shi, Fenghua Wei, Research and Application of Remote Sensing Technology in Chinese Agricultural Statistics, Department of Rural Surveys National Bureau of Statistics of China, 2007.
- Patrick Willis and Rick Mueller, USDA-NASS Crop Land Data Layer, *TUGIS 2005 Conference*, 2005.
- Rick Mueller and Martin Ozga, Creating A Cropland Data Layer for an Entire State, NASS Research report, 2002.
- Robert C. Hale, George A. Hanuschak, Michael E. Craig, “Appropriate Role of Remote Sensing in U.S. Agricultural Statistics”, FAO Seminar on Remote Sensing for Agricultural Statistics, 1999.
- T. A. Tsiligrides, “Remote Sensing as a Tool for Agricultural Statistics : a case study of area frame sampling methodology in Hellas”, *Computer and Electronics in Agriculture*, Vol 20, 1998.
- USDA, Application of GIS, GPS, & Remote Sensing Technologies to access & Optimize Crop Production, Current Research Information System, 1998.
- USDA, Assessment of Global Crop Production from New Generation Remote Sensing Technology, Current Research Information System, 1999.
- USDA, Development and Evaluation of New Remote Sensing Technologies to Assess Food and Fiber Production, Current

Research Information System, 1998.

USDA, Remote Sensing of Corn and Soybean Canopy Production,
Current Research Information System, 2000.

Yichen Tian, Bingfang Wu, Wenbo Xu, An Effective Field Method
of Crop Proportion Survey In China Based on GVG
Intergrated System, Institute of Remote Sensing Applications,
Chinese Academy of Sciences 2004.

農林水産省 經濟局 保險管理課, 「農業災害補償制度の概要」, 1996.

www.naqs.go.kr(국립농산물품질관리원)

www.nig.go.kr(국토지리정보원)

www.nass.usda.gov(미농업통계국)

<http://agrifish.jrc.it>(EU MARS project)

www.pixoneer.co.kr(픽소니어)

<http://www.isro.org>(인도국립RS협회)