

KEI/1999
기본과제 연구보고서

생태 자연도 작성 및 활용을 위한
원격탐사기법 연구Ⅱ
- 식생분류도 작성을 중심으로

1999. 12

전성우
정휘철



한국환경정책·평가연구원
Korea Environment Institute

序 言

우리 나라는 약 70%이상이 산림으로 이루어져 있으며, 산림지역은 인간의 생활뿐만 아니라, 여러 동·식물들에게 있어서도 환경적·생태적으로 매우 중요한 지역입니다. 그러나 이러한 산림은 최근 들어 다양한 개발 요구에 따라 다른 용도로 전환되고 있으며, 보존되고 있는 산림 또한 현황 파악 및 관리를 위한 기초자료의 부족으로 지속가능한 이용과 보전을 위해서 어려움이 많습니다. 自然環境保全法의 개정과 施行令의 발효에 따라 요구되어지는 生態·自然圖의 작성이 시급하나 현재 조사되어있는 자료를 재구성하여 과연 얼마만큼 효율성 높은 生態·自然圖를 제작할 수 있을지는 아직 불투명합니다.

본 연구는 遠隔探查技法을 활용하여, 효율성 높은 生態·自然圖의 작성을 위하여, 生態·自然圖 작성 시 중요한 인자인 식생분류도의 작성에 관한 내용을 다루고 있습니다. 현재까지 시도된 국내사례와 선진외국에서 시행하고 있는 기술적인 사례를 세밀히 분석하여 국내실정에 적용해 보고, 이의 활용가능성과 한계성을 고려하여 식생분류도 제작 방법을 연구 제시하고 있습니다. 또한 식생분류도 제작시의 추진원칙 및 향후 연구과제를 제시하고 있으므로, 生態·自然圖 작성 시에 많은 도움이 되리라 생각합니다.

끝으로 본 연구를 맡아 성실히 수행한 全性禹 責任研究員, 鄭輝喆 研究員에게 감사를 표하며, 본 연구의 자문 및 심사를 맡아주신 상명대학교의 李東根 교수, 環境部 自然生態課 柳太喆 사무관, 카톨릭대학교 曹度純 교수, 본원의 鄭會聲 박사, 金知永 박사, 權寧閑 박사, 兪憲錫 박사의 노고에 진심으로 감사를 포함합니다. 그리고 자료의 수집 및 현장조사 시 도움을 주신 상명대학교 대학원 환경조경학과의 대학원생들에게 감사를 드립니다. 아울러 본 研究의 내용은 본 研究院의 공식 견해가 아닌 연구자 개인의 見解임을 밝혀 둡니다.

1999년 12월

한국환경정책·평가연구원

원장 이 상 은

차 례

| | |
|--|----------|
| I. 서론 | 1 |
| 1. 연구의 배경 및 목적 | 1 |
| 2. 연구의 범위 및 방법 | 2 |
| | |
| II. 식생지수 및 분류의 이론적 고찰 | 5 |
| 1. 식생지수 | 5 |
| 1.1. 식생지역의 광학적 특성 | 5 |
| 1.2. 식생지수 산출시 이용 가능한 위성자료 | 6 |
| 1.3. 식생지수의 정의 | 6 |
| 1.4. 기본적인 지수들 | 6 |
| 1.4.1. 비율식생지수(RVI : Ratio Vegetation Index) | 6 |
| 1.4.2. 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index) | 7 |
| 1.4.3. 적외선비율식생지수(IPVI : Infrared Percentage Vegetation Index) | 8 |
| 1.4.4. 차이식생지수(DVI : Difference Vegetation Index) | 8 |
| 1.4.5. 수직식생지수(PVI : Perpendicular Vegetation Index) | 8 |
| 1.4.6. 가중차이식생지수(WDVI : Weighted Difference Vegetation Index) | 9 |
| 1.5. 토양간섭(Soil Noise)을 최소화하기 위한 지수 | 9 |
| 1.5.1. 토양보정식생지수(SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index) | 9 |
| 1.5.2. 변형토양보정식생지수(TSAVI : Transformed Soil Adjusted Vegetation Index) | 9 |
| 1.5.3. 수정토양보정식생지수(MSAVI : Modified Soil Adjusted Vegetation Index) | 10 |
| 1.5.4. 수정토양보정식생지수 2 (MSAVI2:Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2) | 10 |
| 1.6. 대기간섭을 최소화하기 위한 지수 | 10 |
| 1.6.1. 지구환경모니터지수(GEMI : Global Environment Monitoring Index) | 11 |
| 1.6.2. 대기저항식생지수(ARVI : Atmospherically Resistant Vegetation Index) | 11 |
| 1.7. 다른 지수 | 11 |
| 2. 식생분류 | 12 |
| 2.1. 식생분류방법론 | 12 |
| 2.1.1. DEM을 이용한 Landsat TM 영상자료의 지형적 정규화 | 12 |

| | |
|--|-----------|
| 2.1.2. 선행 확률(Prior probability)을 포함한 Maximum-Likelihood 분류 | 15 |
| 2.2. 식생분류비용 | 17 |
| 3. 식생분류 정확도 | 18 |
| Ⅲ. 국내·외 사례조사 및 분석 | 20 |
| 1. 식생지수 | 20 |
| 1.1. 정규식생지수를 이용한 북한산 국립공원 주연부 탐지 | 20 |
| 1.2. 식생지수를 이용한 환경영향평가 | 21 |
| 1.3. 녹색식생지수를 이용한 서울시 녹지변화 | 21 |
| 1.4. 식생지수와 녹지자연도의 비교평가 | 22 |
| 1.5. 인공위성영상자료와 GIS 기법을 이용한 녹지자연도 등급판정 기법 개발 | 23 |
| 1.6. AVHRR과 SeaWifs위성자료를 이용한 광역식생지수 | 24 |
| 2. 식생분류 | 25 |
| 2.1. 美. USGS-NPS의 식생도 제작사업 | 25 |
| 2.1.1. 개 요 | 25 |
| 2.1.2. 식생도 작성에 사용된 자료 | 26 |
| 2.1.3. 식생도 제작을 위한 영상분석의 한계성 | 27 |
| 2.1.4. 식생분류체계와 지도제작 | 29 |
| 2.2. USDA와 NCASI의 Eastside 식생도 작성사업 | 30 |
| 2.3. 美. 미네소타州的 위성자료를 이용한 산림자원 조사 | 33 |
| 2.4. 식생의 구조과악 | 35 |
| 3. 육상식생의 1차생산력 추정 | 38 |
| 3.1. AVHRR/NDVI를 이용한 육상NPP의 추정 | 38 |
| 3.2. NPP를 추정하는 생태계 모델 | 40 |
| 3.2.1. 위성에 의한 LAI의 추정 | 41 |
| 3.2.2. LAI의 생태계모델로의 통합 | 42 |
| 3.3. 와 FOREST-BGC의 비교 | 43 |
| 4. 식생도를 이용한 얼룩 올빼미 서식지 연구 | 44 |
| 4.1. 개 요 | 44 |

| | |
|---|------------|
| 4.2. 원격탐사와 GIS기법을 이용한 林分(stand)기반 식생지도화기법의 유형과 구조 | 44 |
| 4.3. 공간적 개체군 모형 | 45 |
| 4.4. 얼룩을빼미 서식지의 SEPM모형 | 47 |
| IV. 사례연구 | 51 |
| 1. 사례연구 대상지역의 선정 | 51 |
| 2. 사례연구 대상지역의 현황 | 52 |
| 2.1. 지형·지세 현황 | 52 |
| 2.2. 산림 및 공원녹지현황 | 55 |
| 2.3. 하천현황 | 57 |
| 3. 이용가능한 위성자료 및 참조자료 | 57 |
| 4. 분석결과물 및 시사점 | 58 |
| 4.1. 양평군 전체분석 | 58 |
| 4.1.1. 토지피복분류 결과 | 58 |
| 4.1.2. 식생지수분석결과 | 60 |
| 4.1.3. 식생분류 결과 | 65 |
| 4.2. 심층분석 | 72 |
| 4.2.1. 현존식생도의 문제점 | 72 |
| 4.2.2. 식생분류 | 77 |
| 4.2.3. 식생지수 | 91 |
| V. 식생분류도 활용방안 및 추진원칙 | 98 |
| 1. 식생분류도의 활용방안 | 98 |
| 2. 식생분류도 작성을 위한 추진원칙 및 향후 연구과제 | 99 |
| VI. 요약 및 결론 | 102 |
| 참고문헌 | 103 |
| 부록 I : 일본의 위성화상을 이용한 식생조사방법 | 109 |
| 부록 2 : 토지피복분류결과 및 정확도 검증 | 130 |

표차례

| | |
|---|----|
| < 표 II-1 > 위성영상자료별 비울식생지수 | 7 |
| < 표 II-2 > 위성자료별 NDVI와 RVI | 7 |
| < 표 II-3 > 항공사진과 Landsat 디지털자료의 비용비교 | 17 |
| < 표 II-4 > 위성영상센서간의 비용비교 | 18 |
| < 표 II-5 > 다중계절의 특성을 이용한 식생분류 | 19 |
| < 표 III-1 > 사례대상지역의 NDVI 결과 | 20 |
| < 표 III-2 > 미네소타주 산림자원조사 분류클래스 | 34 |
| < 표 III-3 > 항공사진판독과 인공위성영상 분류결과의 비교 | 34 |
| < 표 III-4 > Tasseled Cap 지수와 수관구조와의 상관관계 | 37 |
| < 표 III-5 > 6각형 셀 내의 서식지 면적과 적합성 스코어 | 48 |
| < 표 III-6 > 올빼미의 행동영역과 동지의 위치 비교 | 50 |
| < 표 IV-1 > 양평군의 표고분석 | 53 |
| < 표 IV-2 > 경사분석결과 | 54 |
| < 표 IV-3 > 향 분석결과 | 55 |
| < 표 IV-4 > 양평군 산림변화율 ('91-'97년) | 56 |
| < 표 IV-5 > 양평군 공원현황(1997년 기준) | 56 |
| < 표 IV-6 > 양평군 공원면적 분석표 (1997년 12월 31일) | 56 |
| < 표 IV-7 > 양평군 시설녹지현황 | 56 |
| < 표 IV-8 > 양평군 녹지현황 | 57 |
| < 표 IV-9 > 양평군 하천현황 (1997년) (단위 : 개소/km) | 57 |
| < 표 IV-10 > 양평군 1인당 하천변연장 | 57 |
| < 표 IV-11 > 이용가능한 자료 | 58 |
| < 표 IV-12 > 이용가능한 참조자료 | 58 |
| < 표 IV-13 > 1987년 위성영상자료의 NDVI 분석결과 | 61 |
| < 표 IV-14 > 1994년 위성영상자료의 NDVI 분석결과 | 62 |
| < 표 IV-15 > 1987년 위성영상자료의 WETNESS 지수 분석결과 | 64 |
| < 표 IV-16 > 1994년 위성영상자료의 WETNESS 지수 분석결과 | 64 |
| < 표 IV-17 > 1987년 영상의 주성분 분석결과 | 66 |

| | |
|---|-----|
| < 표 IV-18 > 1994년 영상의 주성분분석(PCA) 결과 | 69 |
| < 표 IV-19 > 1번 지역의 수종조사 | 74 |
| < 표 IV-20 > 2번 지역의 수종조사 | 76 |
| < 표 IV-21 > 3번지역의 층위별 수종조사 | 77 |
| < 표 IV-22 > 4번지역의 층위별 우점치 | 77 |
| < 표 IV-23 > 연구대상지역의 현존식생 | 79 |
| < 표 IV-24 > 위성자료별 분광대 | 81 |
| < 표 IV-25 > 잣나무군락의 수종별 분류 혼동성 | 90 |
| < 표 IV-26 > 위성 영상별 식생지수의 평균과 표준편차 | 95 |
| | |
| < 부록표 II-2 > Training 지역의 선행확률(Prior probability) | 135 |
| < 부록표 II-3 > 각 지역별 reference 개수 | 140 |
| < 부록표 II-4 > 서울, 안양, 성동, 둔전 지역의 정확도 평가 결과 | 140 |
| < 부록표 II-5 > 임당, 서화, 용하, 인제 지역의 정확도 평가 결과 | 142 |
| < 부록표 II-6 > 대야, 보령, 원산도, 대천 지역의 정확도 평가 결과 | 143 |
| < 부록표 II-7 > 대합, 창영, 남지, 영산 지역의 정확도 평가 결과 | 143 |
| < 부록표 II-8 > 네 지역의 전체 정확도 | 144 |

그림차례

| | |
|--|----|
| < 그림 I-1 > 연차별 연구계획 | 3 |
| < 그림 I-2 > 1999년도 연구사업의 흐름도 | 4 |
| < 그림 II-1 > 나뭇잎과 광선과의 관계 모식도 | 5 |
| < 그림 III-1 > 북한산국립공원의 NDVI 지도 (왼쪽 : 1985. 5) | 21 |
| < 그림 III-2 > 1979년 GVI | |
| < 그림 III-3 > 1990년 GVI | |
| < 그림 III-4 > 1979-1990년 간의 GVI 변화 | 22 |
| < 그림 III-5 > 각 범주의 식생의 계절적 변이 | 25 |
| < 그림 III-6 > SeaWiFS위성 NDVI자료에 의한 세계 식생도 | 25 |
| < 그림 III-7 > USGS-NPS 식생도 제작사업 진행현황 | 26 |
| < 그림 III-8 > Devils Tower 국립공원 지역의 항공사진 | 27 |
| < 그림 III-9 > 미국 Devils Tower국립공원 지역의 USGS-NPS식생도 | 30 |
| < 그림 III-10 > 수관면적 분류도와 올빼미의 서식처 분포도 | 31 |
| < 그림 III-11 > 산림구조 분류도와 올빼미의 서식처 분포도 | 32 |
| < 그림 III-12 > 산림구성 분류도와 올빼미의 서식처 분포도 | 33 |
| < 그림 III-13 > Semivariance의 전형적인 모양 | 36 |
| < 그림 III-14 > 대상지역의 식생, 수관크기, 수관밀폐도, 얼룩올빼미의 등지를 표시한 지도 | 46 |
| < 그림 III-15 > 예상되는 올빼미 활동영역과 실제 올빼미 등지의 위치 | 49 |
| < 그림 IV-1 > 사례연구의 흐름 | 51 |
| < 그림 IV-3 > 사례연구 대상지역의 DEM결과물 | 53 |
| < 그림 IV-4 > 경사분석도 | 54 |
| < 그림 IV-5 > 향분석도 | 55 |
| < 그림 IV-6 > 분류과정도 | 58 |
| < 그림 IV-7 > 지형보정전의 RGB 합성 | 59 |
| < 그림 IV-8 > 지형보정전의 분류결과 | 59 |
| < 그림 IV-9 > 지형보정후의 RGB 합성 | 59 |
| < 그림 IV-10 > 지형보정후의 분류결과 | 59 |
| < 그림 IV-11 > 1994년 지형보정전 분류결과(위), 지형보정후 분류결과(아래) | 60 |
| < 그림 IV-12 > 1987년 NDVI 분석결과 | 61 |
| < 그림 IV-13 > 1994년 NDVI 분석결과 | 62 |
| < 그림 IV-14 > 1987년에서 1994년까지의 NDVI 지수의 변화 | 63 |
| < 그림 IV-16 > 1994년 WETNESS 지수 결과물도 | 64 |
| < 그림 IV-17 > 1987년에서 1994년까지의 WETNESS 지수의 변화 | 65 |
| < 그림 IV-18 > 1987년도 True Color 합성도 | 66 |
| < 그림 IV-19 > 1987년도 PCA 제1축 | 67 |
| < 그림 IV-20 > 1987년도 PCA 제2축 | 67 |
| < 그림 IV-21 > 1987년도 PCA 제3축 | 67 |
| < 그림 IV-22 > 1987년도 PCA컬러합성물 | 67 |
| < 그림 IV-23 > 1987년 위성영상과 임상도의 중첩 영상 | 68 |
| < 그림 IV-24 > 1987년도 위성영상과 현존식생도의 중첩영상 | 69 |
| < 그림 IV-25 > 1994년도 True Color 합성도 | 70 |

| | | |
|--|------------------------------|-----|
| < 그림 IV-26 > 1994년도 PCA 제1축 | < 그림 IV-27 > 1994년도 PCA 제2축 | 70 |
| < 그림 IV-28 > 1994년도 PCA 제3축 | < 그림 IV-29 > 1994년도 PCA컬러합성물 | 70 |
| < 그림 IV-30 > 1994년 위성영상분류결과와 임상도를 중첩한 결과 | | 71 |
| < 그림 IV-31 > 1994년 위성영상분류결과와 현존식생도를 중첩한 결과 | | 71 |
| < 그림 IV-32 > 현존식생도와 인공위성영상자료간의 일치성 | | 72 |
| < 그림 IV-33 > 양평군 현장 조사 지점의 위치와 현존 식생도 수준 | | 74 |
| < 그림 IV-34 > 1번지점의 현황사진(근경(좌), 원경(우), 99. 7. 30) | | 75 |
| < 그림 IV-35 > 식생수관 분포 단면도 | | 75 |
| < 그림 IV-36 > 식생수관 분포 입면도 | | 76 |
| < 그림 IV-37 > 2번지역의 현황사진 원경(99. 7. 30) | | 76 |
| < 그림 IV-38 > 식생분류흐름도 | | 78 |
| < 그림 IV-39 > Landsat TM 영상의 월별 분류 결과 | | 80 |
| < 그림 IV-40 > 위성체별 영상의 무감독 분류 결과 | | 82 |
| < 그림 IV-41 > 자료합성 기법을 이용한 분류 | | 84 |
| < 그림 IV-42 > 잣나무군락의 분류에 이용된 Training 지역 위치 | | 86 |
| < 그림 IV-43 > Training시 이용되는 화소 변화가 분류결과에 미치는 영향 | | 88 |
| < 그림 IV-44 > Landsat TM 영상을 이용한 계절별 잣나무군락의 분류결과 | | 89 |
| < 그림 IV-45 > 잣나무군락의 분류결과와 현존식생도 항목간의 비교 | | 90 |
| < 그림 IV-46 > Cartesian 공간의 NDVI | | 91 |
| < 그림 IV-47 > TM Ch4와 Ch3의 Scatter Plot상의 식생의 분포 | | 92 |
| < 그림 IV-48 > MODVI 의 적용흐름도 | | 94 |
| < 그림 IV-49 > Landsat TM 영상의 적외선, 적색 밴드의 Scatter Plot | | 95 |
| < 그림 IV-50 > Landsat TM 영상의 정규식생지수(NDVI) | | 96 |
| < 그림 IV-51 > Landsat TM 영상의 수정 식생지수(MODVI) | | 97 |
| < 부록그림 I-1 > 식생조사 사업의 흐름 | | 109 |
| < 부록그림 I-2 > 조사 분석 과정흐름 | | 112 |
| < 부록그림 I-3 > 영상작성방법 | | 113 |
| < 부록그림 I-4 > 화상관독순서 | | 123 |
| < 부록그림 II-1 > 분류과정도 | | 131 |
| < 부록그림 II-2 > 연구대상지역과 지형정규화에 이용된 음영기복도 | | 132 |
| < 부록그림 II-3 > 1차 지형정규화 이전과 이후의 영상의 밝기값 변화 | | 133 |
| < 부록그림 II-4 > 마스킹에 이용되는 수역 | | 133 |
| < 부록그림 II-5 > 연구지역의 분류 방법별 분류 결과 | | 135 |
| < 부록그림 II-6 > Competitive Training과 Para-ML를 이용한 무감독분류결과 | | 136 |
| < 부록그림 II-7 > 혼성된 분류지도와 최종적으로 생성된 피복 분류 결과 | | 137 |
| < 부록그림 II-8 > 토지피복분류방법론 | | 138 |
| < 부록그림 II-9 > 시가화 건조지가 많은 지역의 분류영상(서울, 안양, 성동, 둔전) | | 140 |
| < 부록그림 II-10 > 산림이 많은 지역의 분류영상(임당, 서화, 용하, 인제) | | 141 |
| < 부록그림 II-11 > 수계가 많은 지역의 분류영상(대야, 보령, 원산도, 대천) | | 142 |
| < 부록그림 II-12 > 경작지가 많은 지역의 분류영상(대합, 창영, 남지, 영산) | | 143 |

I. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

우리 나라의 산림은 매우 양호한 상태를 유지하고 있었으나, 1900년대 초의 일제강점기에 무분별한 벌목에 의해 많은 산림이 파괴해지게 되었으며, 1950년대의 6.25전쟁을 겪으며, 더욱 황량하게 변하게 되었다. 그러나, 산림의 중요성을 인지하여, 산림을 육성해오다 1970년대 이후 급격한 산업구조의 변화와 함께 토지이용의 변화로 인해 산림면적이 감소하는 추세를 보이고 있다.

감소된 산림면적의 다른 용도로 변화되는 경향은, 1970년대 말에는 초지 및 농지로, 1980년대에는 공업용지로, 1990년대에는 휴양 및 위락시설용지로의 전용이 지속적으로 이루어져 왔다. 근래에 이르러서는 농·산촌지역의 인구가 감소되어, 농경지가 휴경으로 인해 초지 및 녹지로 환원되는 경우가 증가되는가 하면, 도시주변의 그린벨트지역의 산림은 인구증가에 따른 지속적인 수요증가로 인해 각종 전용 및 개발압력이 점증하고 있는 실정이다.

이러한 시점에 최근에는 산림의 과도한 전용 및 비합리적인 개발이 환경 및 생태적 교란을 야기하며, 이로 인해 인간생태계에도 영향을 미친다는 주장이 대두되어, 지속 가능한 이용의 관점에서 산림자원을 관리해야 한다는 사회적 공감대가 형성되어 가고 있다. 따라서 산림자원의 지속 가능한 이용 및 보전을 위해 산림자원의 정확하고, 주기적인 조사가 이루어져야 하며, 이는 단순히 수치자료가 아닌, 위치정보와 같이 조사가 되어야 한다.

우리 나라는 전체 면적의 약70%가 산지로 개발과 보전을 조화시키는 지속 가능한 사회기반을 구축하기 위해서는 산림자원의 보전 및 효율적인 관리가 중추적인 역할을 차지하나, 지리적인 요인과의 통합적인 분석이 미흡하여 이를 정보화 하는 데는 한계가 있다. 또한 현재 까지 실시된 식생부문의 조사 및 결과지도는 현장조사를 통한 식생조사로 이에 많은 시간과 비용이 소요되므로 각종 개발로 인해 빈번히 발생하는 산림자원의 변화에 적절하게 대처하지 못한 측면이 있다. 이러한 단점을 보완하고, 현장조사시 좀더 정확하고, 효율성 있는 결과물을 도출할 수 있는 보조자료로서 인공위성영상자료는 효율성이 있다고 할 수 있다.

1999년 5월에 개정된 자연환경보전법 제2조 16항에 의하면, “생태·자연도는 산, 하천, 습지, 호소, 농지, 도시, 해양 등에 대하여 자연환경을 생태적 가치, 자연성, 경관적 가치 등에 따라 등급화 한 것이다”라고 정의하고 있다. 또한 동법 제34조에서는 제32조 및 제33조에 의해 매10년 또는 매5년마다 조사하는 자료를 활용하여 전국을 1등급 권역, 2등급 권역, 3등급 권역과 별도관리지역의 4개 권역으로 분할하는 것을 목적으로 한 생태·자연도의 작성을 명시하고 있다. 동법 제32조 및 제33조에 의해 조사되는 항목 중 식생과 관련된 자료로는 녹지자연도와 현존식생도가 있었으며, 이 자료들은 지금까지 환경부문의 중요기초자료로 매우 중요한 위치를 점하고 있었다. 그러나, 이 자료들은 현장조사에 의한 것으로 조사기간이 많이

소요되며, 정확한 위치 및 속성자료의 구축이 어려워 단기간에 효용성 있는 자료의 구축을 위한 방법론의 개발이 필요한 실정이다.

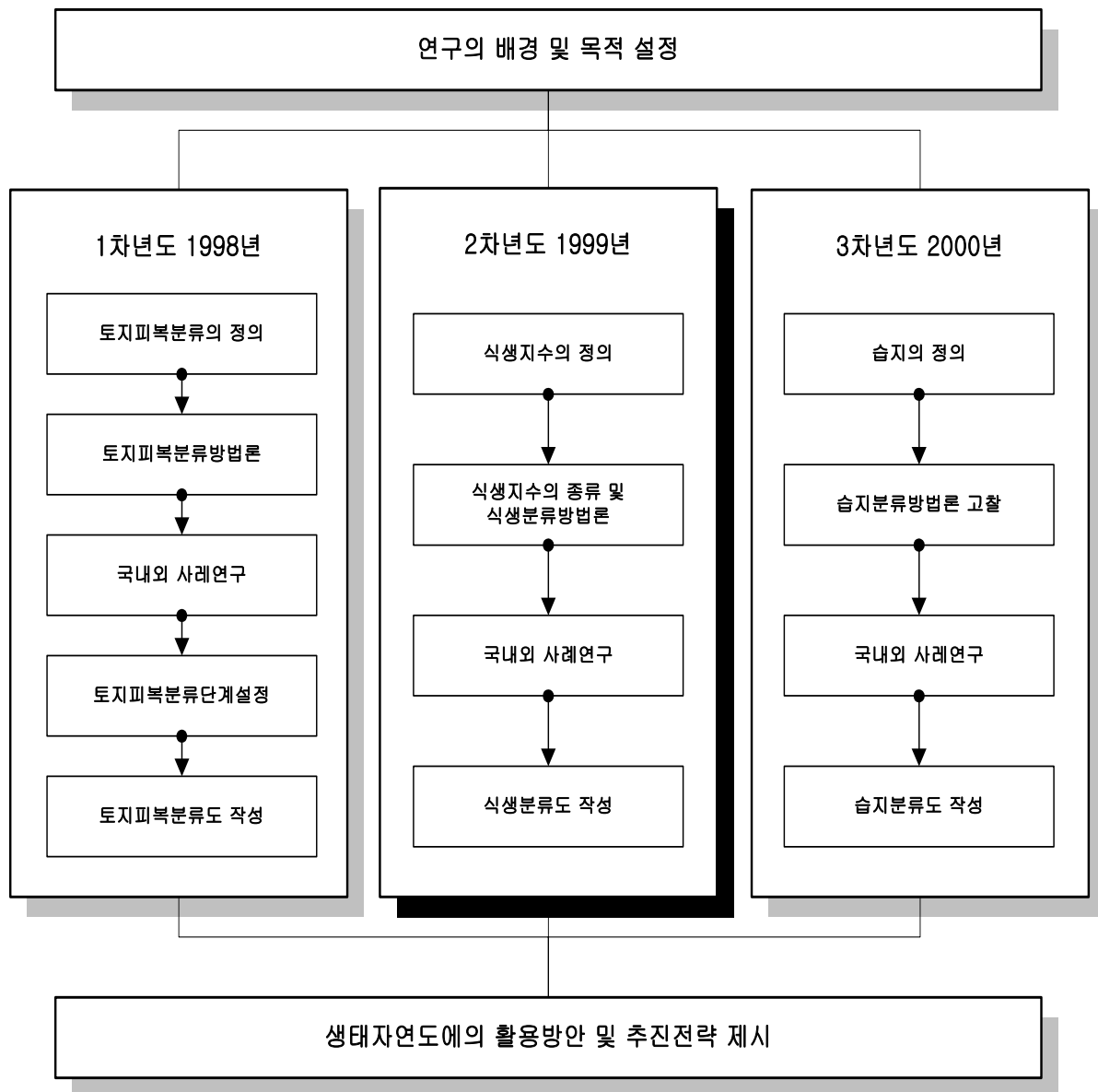
위와 같은 배경에서 현재 선진외국에서 시행하고 있는 식생 조사방법의 일종인 위성영상 자료를 이용한 식생분류방법론과 식생질 평가방법론 사례를 심층적으로 분석하여 우리 나라에의 적용가능성을 고찰해보고, 정책적 활용방안을 도출하는데 본 연구의 목적이 있다.

2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 3년의 계획 속에서 추진되고 있다. 1차 연도인 1998년에는 토지피복분류의 정의 및 인공위성영상자료를 이용한 토지피복분류방법론, 우리 나라에 적합한 토지피복분류체계 및 활용방안 및 추진시 고려사항에 대하여 연구를 진행하였다. 이 연구과제의 결과는 환경부 용역사업으로 1차 토지피복분류사업을 추진하였으며, 1999년 11월에 완료되었다. 1차 분류는 시가화건조지역, 산림지역, 농경지역, 나지, 녹지/초지, 수역, 습지의 7개 항목에 대하여 수행하였으며, 수행결과물은 부록II에 정리하였다.

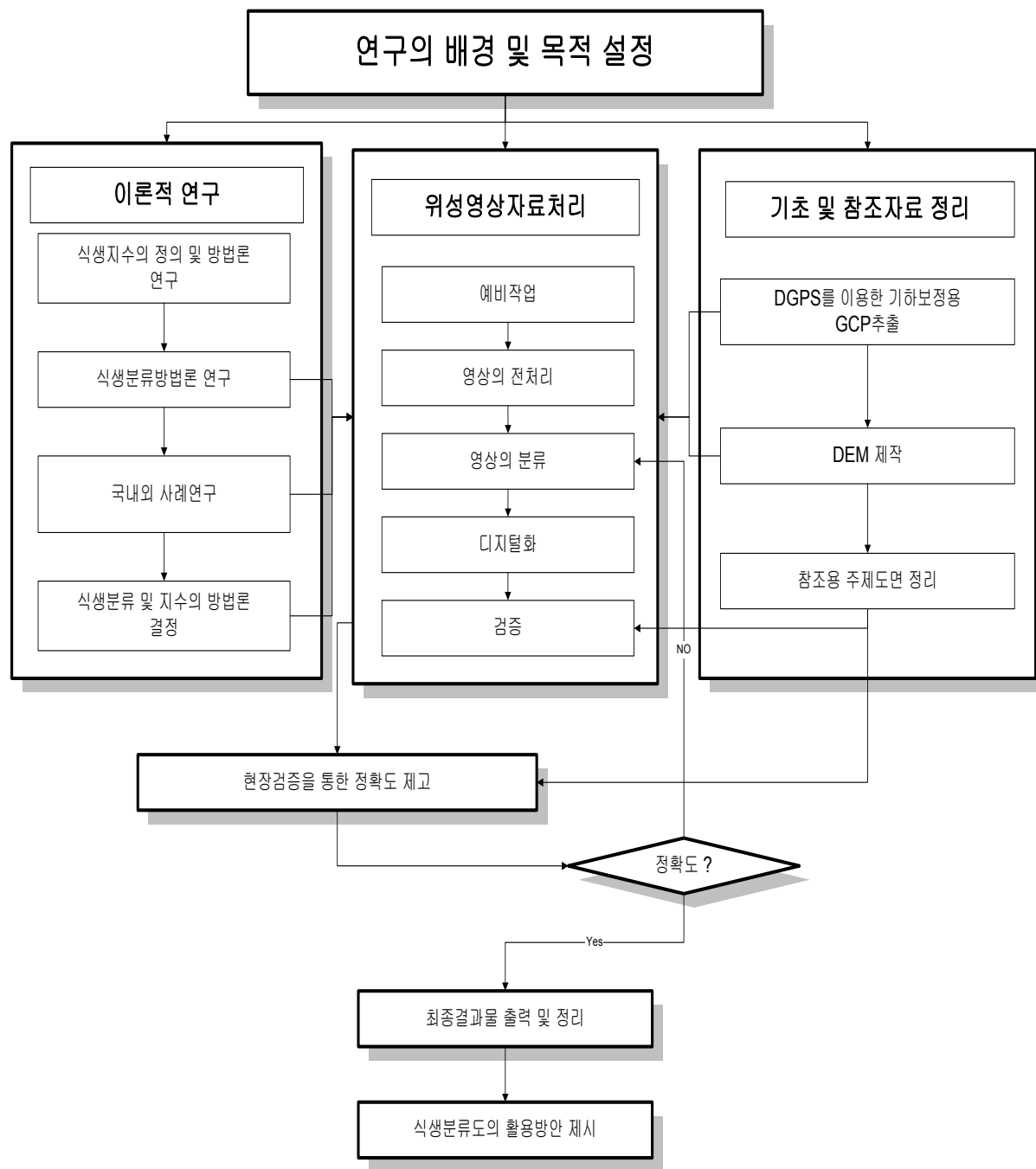
2차 연도인 1999년에는 토지피복분류항목 중 생태·자연도에서 차지하는 비중이 높은 식생분야에 대하여 연구를 진행하였다. 우선 식생의 질을 파악하는데 매우 유용한 식생지수들의 종류와 한계에 대하여 연구하였으며, 식생분류를 위한 방법론 개발 및 각종 위성자료별 식생분류의 활용가능성에 대하여 연구하였다.

3차 연도인 2000년에는 생태계에서 각종 생물종들의 서식처인 하천변습지를 조사하는 방법론과 이의 활용방안에 대하여 연구할 것이며, 연차별 계획을 정리하면 다음과 같다.



< 그림 I-1 > 연차별 연구계획

1999년도 식생분류를 중심으로 한 연구의 흐름을 정리하면 다음의 그림과 같다. 우선 연구의 목적을 설정하였으며, 이론적 연구를 통해 식생지수의 정의 및 방법론, 식생분류방법론을 연구했으며, 국내·외 사례연구를 통해 우리 나라에 적용가능한 방법론과 활용방안을 고찰하였다. 위성영상자료의 처리와 관련하여 기초 및 참조자료를 정리하였으며, 분석을 통하여 현존식생도와와의 비교를 통하여 개선방안 및 활용방안에 대하여 제시하였다.



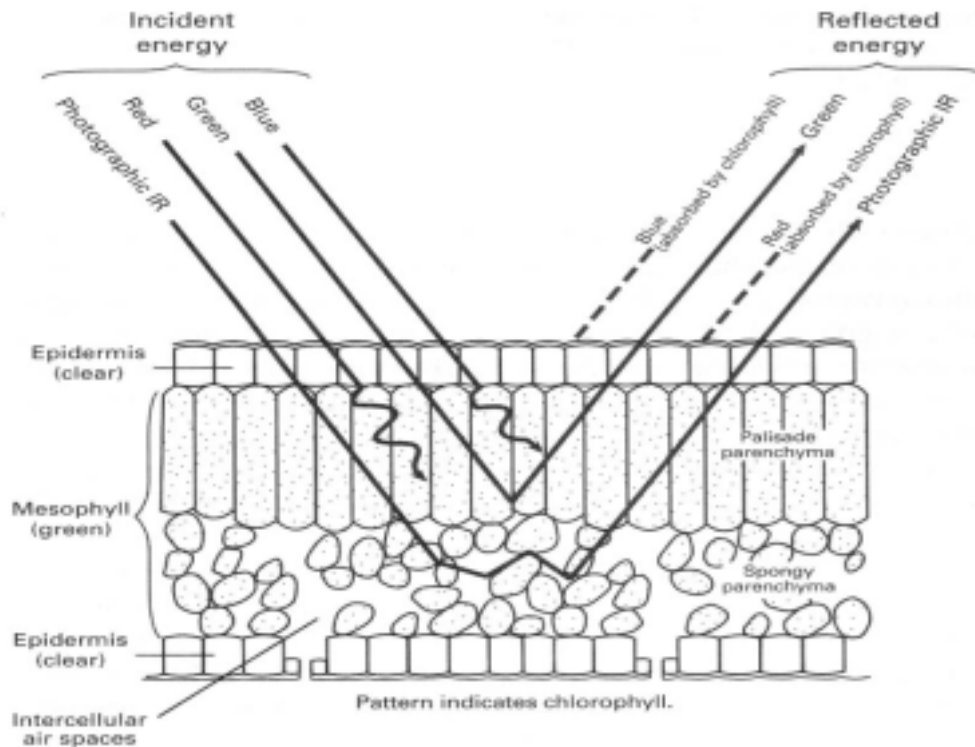
< 그림 I-2 > 1999년도 연구사업의 흐름도

II. 식생지수 및 분류의 이론적 고찰

1. 식생지수

1.1. 식생지역의 광학적 특성

나뭇잎 세포는 수분이 풍부한 세포와 공기를 포함하고 있는 공간 사이에 반사지수에서 큰 대조 때문에 빛의 매우 효과적 산란자이다. 잎에 있는 Chlorophyll, protochlorophyll, Xanthophyll 등은 높은 빛 흡수율 때문에 가시광선영역인 400~700nm에서 어둡게 보이며, 파장대 550nm부근에서는 반사정도가 조금씩 증가하는데 이는 이들 색소가 이곳에서 최소로 흡수되기 때문이다. 파장대 700-1,300nm의 스펙트럼 범위에서 식물은 매우 밝게 보이는데, 이는 스펙트럼 관계 때문이다.



< 그림 II-1 > 나뭇잎과 광선과의 관계 모식도

자료 : Floyd F. Sabins(1996), Remote Sensing Principles and Interpretation, Third edition, p.57

다른 물체들은 이 파장대 범위에서 강한 흡수가 없으나 위에서 언급한 바와 같이 식물은 강하게 분산한다. 또한 파장대 1,300~2,500nm 영역에서 식생은 비교적 어둡게 보이는데 이는 대개 잎 내부의 수분에 의한 빛 흡수 때문이다. 셀룰로오스, 리그닌 그리고 다른 식물물질들도 이 스펙트럼 범위에서 역시 흡수한다.

위의 그림과 같이 잎에 투과된 빛 중에서 Blue와 Red Band는 클로로필에 의해 흡수되며, Green band는 클로로필에 의해 부분적으로 반사된다. Infrared band는 mesophyll에 있는 세

포벽에 의해 강하게 산란되며, 반사된다. 이와 같은 원리를 효과적으로 이용한 것이 식생지수들로 식생지수를 이용하여 식생질의 상태를 파악하는 등의 여러 가지 조사 및 분석을 할 수 있다.

1.2. 식생지수 산출시 이용 가능한 위성자료

기본적으로 식생의 경우 파장대 700~1,300nm 범위 영역에서 밝게 나타난다. 따라서 Landsat TM(Thematic Mapper) 자료를 이용해서 식생지수를 산출하기 위해서는 band 4 또는 band 5, Landsat MSS(Multi Spectral Scanner)의 경우는 band 6 또는 band 7 (band 7이 700nm부근의 간섭을 피할 수 있기에 좋다.)이 가장 적합하다.

식생을 밝게(가장 민감한 접근방법)나타나게 하려면, 파장대 400~700nm 또는 파장대 1,300~2,500nm 대 파장대 700~1,300nm의 범위 영역비를 사용하며, 적외선영역/가시영역 비가 전통적인 접근방법이다. 보통 파장대 650nm를 포함하는 가시광선영역이 선호되는데 이는 원격탐사기구에 의한 식생스펙트럼의 가장 어두운 부분에 가깝기 때문이다. 기본적으로 식생이 밝은 영역이 위에 어둡게 보이는 영역이 밑에 위치하도록 한다.

전형적인 TM4/TM3, TM5/TM7이 보통 좋지만 많은 토지들이 이들 조합에서 상당히 밝게 나타나며, MSS의 경우에는 일반적으로 MSS7/MSS5, MSS6/MSS5가 사용된다.

1.3. 식생지수의 정의

식생지수들은 위성영상자료들의 몇 가지 band 값의 조합에 의해 생성되는 지수이며, 주어진 이미지 화소(TV화상 등을 구성하는 것 : Pixel)에서 식생의 양에 대한 몇 가지 관계를 가지고 있다.

Caltec의 Jim Westphal은 식생지수들은 과학보다는 좀더 수비학(numerology)처럼 보인다고 지적하였다. 이것은 식생지수들의 결과가 숫자로 나타나기 때문이다.

1.4. 기본적인 지수들

1.4.1. 비율식생지수(RVI : Ratio Vegetation Index)

비율식생지수(RVI)는 Jordan(1969)에 의해 처음 제안된 것으로 가장 광범위하게 사용되었던 것으로, 녹색식물의 반사율이 적색영역에는 대체로 작고 근적외선 영역에서는 높다는 것을 이용하여 두 분광대 영상이 가진 화소간의 비율을 구하며, 식생의 밀집도 등을 나타내기 위한 지수이다. < 표 II-1 >은 인공위성영상자료별로 사용 가능한 비율식생지수를 보여주고 있다.

< 표 II-1 > 위성영상자료별 비율식생지수

| | |
|-----------------|---------------------------------|
| LANDSAT MSS의 경우 | |
| | RVI65 = MSS BAND6 / MSS BAND 5 |
| | RVI75 = MSS BAND7 / MSS BAND 5 |
| LANDSAT TM의 경우 | |
| | RVI = TM BAND4 / TM BAND 3 |
| SPOT의 경우 | |
| | RVI = SPOT BAND3 / SPOT BAND 2 |
| NOAA AVHRR의 경우 | |
| | RVI = AVHRR BAND2/ AVHRR BAND 1 |

1.4.2. 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)

정규식생지수(NDVI)의 개념은 Krigler(1969)에 의해 처음으로 설명되었으며, Rouse et al(1973) 등이 처음으로 활용사례를 제안하였다. 정규식생지수(NDVI)는 사람들이 식생지수를 이야기할 때 가장 많이 언급되는 것 중의 하나이다. 비율식생지수(RVI)가 0에서 무한까지의 범위인 반면 이 지수는 -1과 1사이의 값으로 산출된다. 비율식생지수(RVI)와 정규식생지수(NDVI)는 기능적으로 동일하지만 다음의 (식 II-1)과 같은 관계가 있다. < 표 II-2 >는 인공위성영상자료별로 정규식생지수와 비율식생지수를 산출하는 방법을 간략히 보여주고 있다.

$$NDVI = \frac{RVI - 1}{RVI + 1} \quad (\text{식 II-1})$$

< 표 II-2 > 위성자료별 NDVI와 RVI

| | |
|-----------------|--|
| LANDSAT MSS의 경우 | |
| | $ND\ 6 = \frac{MSS\ BAND\ 6 - MSS\ BAND\ 5}{MSS\ BAND\ 6 + MSS\ BAND\ 5}$ |
| | $ND\ 7 = \frac{MSS\ BAND\ 7 - MSS\ BAND\ 5}{MSS\ BAND\ 7 + MSS\ BAND\ 5}$ |
| | $TVI\ 6 = \sqrt{ND6 + 0.5}$ |
| | $TVI\ 7 = \sqrt{ND7 + 0.5}$ |
| LANDSAT TM의 경우 | |
| | $ND = \frac{TM\ 4 - TM\ 3}{TM\ 4 + TM\ 3}$ |
| SPOT의 경우 | |
| | $ND = \frac{SPOT\ BAND\ 3 - SPOT\ BAND\ 2}{SPOT\ BAND\ 3 + SPOT\ BAND\ 2}$ |
| NOAA AVHRR의 경우 | |
| | $ND = \frac{AVHRR\ BAND\ 2 - AVHRR\ BAND\ 1}{AVHRR\ BAND\ 2 + AVHRR\ BAND\ 1}$ |

1.4.3. 적외선비율식생지수(IPVI : Infrared Percentage Vegetation Index)

적외선비율식생지수는 Crippen(1990)에 의해 처음 제안된 것으로 분자(분수)에서 Red를 빼기는 부적절하다는 것을 발견하고 이 지수를 제안하였다. 적외선비율식생지수(IPVI)와 정규식생지수(NDVI)는 기능적으로는 동일하지만 다음 식과 같은 관계가 있다.

$$IPVI = \frac{NDVI+1}{2} = \frac{NIR}{NIR + RED} \quad (\text{식 II-2})$$

1.4.4. 차이식생지수(DVI : Difference Vegetation Index)

차이식생지수(DVI)는 Richardson과 Everitt(1992)의 몇몇 최근 논문에서 기술되고 있으나, 이를 처음으로 제안한 것은 Lillesand 와 Kiefer(1987)로 이들은 식생지수 (VI:Vegetation Index)로서 제안하였다. Lillesand 와 Kiefer는 이것의 사용가능성을 언급하였으나, 특별한 자료를 제시하지 않았다.

녹색식물의 반사율이 높은 근적외선의 영상과 반사율이 낮은 적색영역 영상의 두 분광대에서 관측한 영상이 가진 차이를 구하여 녹색식물의 반사특성을 강조하는 변환식이다. 차이식생지수는 다음과 같은 방법으로 구한다.

$$DVI = NIR - RED \quad (\text{식 II-3})$$

이를 위와 같은 원리 하에 이를 약간씩 변형하여 다음과 같은 변형식을 만들어 냈다.

- Ashburn 의 식 : $DVI = 2.0 \text{ MSS7} - \text{MSS5}$
- Richardson and Wiegand 의 식 : $DVI = 2.4 \text{ MSS7} - \text{MSS5}$

식생에 영향을 미치는 클로로필의 반사특성을 보면 Landsat MSS의 band 7은 클로로필에 의한 반사가 가장 높고 녹색식물의 반사특성이 안정되어 있으며, band 5는 클로로필 반사량의 분산이 가장 작으며, 반사량 자체가 작다는 특성이 있다. 또한 토양의 반사율이 band 5에서는 가장 높고 band 7에서는 낮다는 특성이 있기 때문에 차이식생지수(DVI)의 사용이 가능하다.

1.4.5. 수직식생지수(PVI : Perpendicular Vegetation Index)

수직식생지수(PVI)는 Richardson과 Wiegand(1977)에 의해 처음 제시되었다. 수직식생지수(PVI)는 대기편차에 매우 민감하여 다른 날에 취하여진 자료와 수직식생지수 값을 비교하는 것은 자료에 대기적 수정이 이루어지지 않는다면 오차가 크게 날 가능성이 높아 바람직하지 않다.

$$PVI = \sin(a)NIR - \cos(a)RED \quad (\text{식 II-4})$$

여기서 a 는 토양선과 NIR축의 상이 각도를 말함.

1.4.6. 가중차이식생지수(WDVI : Weighted Difference Vegetation Index)

가중차이식생지수는 Clevers(1988)에 의해 제시된 것으로 가중차이식생지수와 수직식생지수의 관계는 적외선비율식생지수와 정규식생지수와 관계와 유사하다.

수직식생지수와 같이 가중차이식생지수는 대기적 편차에 매우 민감하며 다음과 같은 식으로 구한다.

$$WDVI = NIR - g * RED \quad (\text{식 II-5})$$

여기서 g는 토양선의 기울기임.

1.5. 토양간섭(Soil Noise)을 최소화하기 위한 지수

모든 토양들은 반사특성이 고유하여, 서로 다른 토양들은 서로 다른 반사스펙트럼을 가진다. 토양간섭의 문제는 식생피복도가 낮을 때 매우 민감하다. 다음에 제시된 지수들은 토양간섭을 최소화시키는 지수들로서, 대부분이 비율척도지수이다.

이들 지수들은 식생피복이 낮은 상황에서 정규식생지수보다 식생피복에서의 편차에 더욱 민감하다. 그러나 이들 지수들은 수직식생지수보다는 덜 민감하다.

1.5.1. 토양보정식생지수(SAVI : Soil Adjusted Vegetation Index)

토양보정식생지수는 Huete(1988)에 의해 제시된 것으로 비율척도지수와 수직식생지수(PVI)를 혼용한 것이다.

이 지수의 면화지대와 초지로 덮인 부분, 어둡고 환한 토양배경을 지닌 초지로 덮인 지역의 측정에 기초를 두고 있으며, 수정된 요소 L은 명암 토양에 대한 동일한 식생지수 결과를 나타내는 요소가 발견되기까지 시행착오에 의해 발견되었다.

Huete(1988)는 이 지수에 대한 이론적 기초를 제시하였으며, 토양보정식생지수를 구하는 식은 다음과 같다.

$$SAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L) \quad (\text{식 II-6})$$

여기서 L은 수정요소로서 매우 높은 식생피복의 0과 매우 낮은 식생피복의 1의 범위이다. 가장 전형적으로 사용되는 숫자는 0.5이다.

1.5.2. 변형토양보정식생지수(TSAVI : Transformed Soil Adjusted Vegetation Index)

변형토양보정식생지수는 Baret(1989)과 Naret and Guyot(1991)에 의해 발전된 지수로 토양선이 임의의 기울기와 절편을 가졌음을 가정하고, 이들 숫자들을 식생지수의 보정에 주로

사용한다. 만약 다른 보정변수(또는 매개변수)가 이 지수에 포함되어 있지 않다면 토양보정식 생지수(SAVI)내 L의 임의성을 피하는데 가장 좋은 방법이다.

보정변수 X는 토양배경효과를 최소화하기 위하여 조정된다. 그러나 아직 보정변수를 찾아내는 임의적이지 않은 방법을 찾지 못하여 경험적인 수치가 사용되고 있으며, 학술논문에도 보고된 이 값은 0.08이다. 변형토양보정식생지수(TSAVI)의 계산식은 다음과 같다.

$$TSAVI = \frac{s(NIR - s \times RED + a)}{a \times NIR + RED - a \times s + X \times (1 + s \times s)} \quad (\text{식 II-7})$$

여기서 a는 토양선 절편

s는 토양선기울기,

X는 토양간섭을 최소화하기 위한 보정변수(0.08)임

1.5.3. 수정토양보정식생지수(MSAVI : Modified Soil Adjusted Vegetation Index)

수정토양보정식생지수는 Qi(1994)등에 의해 발전된 것으로, 이미 언급된 바와 같이 토양보정식생지수(SAVI)에 대한 보정변수 L은 식생피복의 정도에 따라 다르다. 수정된 토양보정식생지수의 기본적 원리는 다양한 교정요소(Correction factor)L을 이용하는 것으로, 이용되는 교정요소는 정규식생지수와 가중차이식생지수의 조합에 의해 계산된다. 수정토양보정식생지수(MSAVI)의 계산식은 다음과 같다.

$$MSAVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED + L} (1 + L) \quad (\text{식 II-8})$$

여기서 L은 $1 - 2s \times NDVI \times WDV I$ 이며 s는 토양선의 기울기이다.

1.5.4. 수정토양보정식생지수 2 (MSAVI2:Modified Soil Adjusted Vegetation Index 2)

수정토양보정식생지수 2는 Qi(1994)에 의해 수정토양보정식생지수를 귀납적으로 발전시켜 개발한 두 번째 지수이다. MSAVI2의 계산식은 다음과 같다.

$$MSAVI 2 = \frac{2(NIR + 1) - \sqrt{(2 \times NIR + 1)^2 - 8(NIR - RED)}}{2} \quad (\text{식 II-9})$$

1.6. 대기간섭을 최소화하기 위한 지수

대기는 시간에 따라 변화되며 모든 원격탐사센서는 대기를 통과하여 반사된 빛을 측정해야만 한다. 그러나, 대기는 빛을 약화시키고, 떠다니는 연무질은 빛을 산란시키므로 인해 반사된 빛이 변하게 되며, 특히 기복이 많은 지역에서 그렇다. 이것은 기기에 의해 보여지는 빛을 변화시키고, 식생지수의 변화(편차)를 유발시킬 수 있다. 따라서 다른 날에 대한 식생지수

를 비교하는데 문제가 있다. 다음의 지수들은 대기적으로 수정된 자료 없이 이 문제를 해결하기 위해 개발된 지수들이다.

이들은 정규식생지수보다 식생피복에서의 변화에 대해 덜 민감하나, 토양배경에는 매우 민감하다.

1.6.1. 지구환경모니터지수(GEMI : Global Environment Monitoring Index)

지구환경모니터지수는 Pinty와 Verstraete(1991)에 의해 발전된 지수로 그들은 식생지수에 대한 “Stock”대기적 수정을 실시함으로써 자세한 대기적 수정 필요성을 없앴다. 지구환경모니터지수의 계산식은 다음과 같다.

$$GEMI = \eta (1 - 0.25 \times \eta) - \frac{red - 0.125}{1 - red} \quad (\text{식 II-10})$$

여기서 η 는 다음과 같다.

$$\eta = \frac{2(NIR^2 - RED^2) + 1.5 \times NIR + 0.5 \times RED}{NIR + RED + 0.5} \quad (\text{식 II-11})$$

1.6.2. 대기저항식생지수(ARVI : Atmospherically Resistant Vegetation Index)

대기저항식생지수는 Kanfman and Tante(1992)에 의해 소개된 것으로 정규식생지수(NDVI)에서 red band의 반사율을 대치한다.

Q_i 등은 이 지수들의 부류가 지구환경모니터지수(GEMI)보다 식생피복에서의 변화에 더욱 민감하다는 것을 보여주었다. 그리고 중간에서 높은 식생피복에 대해서는 지구환경모니터지수(GEMI)보다 대기나 토양에 덜 민감함도 보여주었다. 이러한 대기 및 토양에 대한 무감각성은 낮은 식생피복에서는 매우 큰 오차를 보인다. 대기저항식생지수(ARVI)의 계산식은 다음과 같다.

$$ARVI = \frac{NIR - rb}{NIR + rb} \quad (\text{식 II-12})$$

$$rb = red - \gamma(blue - red)$$

여기서 γ 는 1의 숫자를 가짐.

1.7. 다른 지수

Kauth와 Thomas(1976)는 MSS에 대한 4-영역변형을 개발하였고, Crist와 Cicone(1984)은 TM에 대한 6-영역변형을 개발하였으며, Jackson(1983)은 n-영역변형을 구성하는 방법을 제시하였다. MSS에 대한 녹색식생지수(GVI : Green Vegetation Index)의 계산은 다음과 같다.

$$GVI = -0.29 \times MSS4 - 0.56 \times MSS5 + 0.60 \times MSS6 + 0.49 \times MSS7 \quad (\text{식 II-13})$$

TM에 대한 계산식은 다음과 같다.

$$GVI = -0.2848 \times TM1 - 0.2435 \times TM2 - 0.5436 \times TM3 + 0.7243 \times TM4 + 0.0840 \times TM5 - 0.1800 \times TM7 \quad (\text{식 II-14})$$

Rouse(1973, 1974) 등은 NDVI+0.5의 제곱근의 사용을 제안하였고, Goetz(1975) 등은 Log 비율을 이용한 지수를 제안하였으며, Wecksung과 Breedlove(1977)는 Arctangent 비율을, Tucker(1979)는 NIR/red의 제곱근을 이용한 지수를 제안하였다.

2. 식생분류

2.1. 식생분류방법론

지난 50년간 항공사진을 이용한 원격탐사기법은 자연상태에서 여러 가지 정보를 추출하는데 이용되어왔으며, 최근에는 Radar 시스템과 다중밴드에 의한 원격탐사자료의 획득 및 처리 기술의 발달은 자료의 저장, 처리, 분석에 있어서 획기적인 발전을 가져왔다.

식생분류방법론에 있어서도 지형효과의 저감과 분류시 이용하는 통계적인 방법론의 개선으로 인하여 보다 정교한 현황 파악 및 분석이 가능하게 되었다. 이들 방법론과 비용, 정확도에 대한 내용을 간단히 정리하면 아래와 같다.

2.1.1. DEM을 이용한 Landsat TM 영상자료의 지형적 정규화

지형의 영향으로 인한 밝기 값의 상대적인 과대와 과소는 특히 늦은 가을, 겨울, 봄기간의 Landsat TM 영상에서 관측된다. 이 시기의 중위도 지역에서는 활엽수의 잎이 없어 숲과 땅의 반사특성이 합쳐져 복사량 자료가 된다. 예를 들면 감독 분류 문제에서 북쪽사면의 활엽수지역 화소들은 전체 활엽수지역의 복사량에 비해 낮은 복사량을 나타내며 습지항목으로 자주 오분류 된다. 또한 남쪽사면의 활엽수지역 화소들은 전체 활엽수지역의 평균 밝기값 보다 높은 밝기 값을 나타내고 휴경지나 나지와 같은 비식생지역으로 자주 오분류 된다. 더욱이 지형적 영향으로 인한 과장된 밝기 값 편차 때문에 무감독 분류시 실제 정보량의 분류 등급수를 초과한 많은 수의 분광 군집을 발생시키는 경향이 있다. 따라서 분광반응특성을 이용한 자동화된 분류결과의 향상을 위해 지형적 영향이 미치는 밝기 값의 변화에 대한 활발한 연구가 수행되었다.

Holben과 Justice(1980)는 지형적 영향을 모의하고 정량화하는 최초의 시도로 다양한 경사와 경사방향을 가지는 균질한 모래 표면에서의 다양한 분광 반응을 측정하는 연구를 수행하

였다. 이들은 분광 반응에 대한 지형 영향의 크기는 태양 입사각과 방위 그리고 지형의 경사와 방향의 함수에 의해 변화한다는 것을 발견하였다. 이 연구에 기초하여 태양과 지형의 기하학적 관계를 고려한 다중 분광 자료에 대한 연구들이 활발히 수행되었다. 이들 연구는 수치표고모형(Digital Elevation model; DEM) 자료로부터 계산된 한 픽셀에서의 경사도, 경사방향과 태양광선 입사각의 코사인 값을 이용하고, 인공위성 감지기에 의해 기록되어지는 지면의 복사량을 수정하여 지형적 영향에 의한 부정적 측면을 최소화하기 위한 것들이었다. 이러한 연구에서 유의하여야 할 점은 다음과 같다.

- 수정될 다중 분광 자료와 동일한 공간 해상도의 DEM이 사용되어야 한다.
- Lambertian 표면 가정하의 지형 영향 수정시, 영상은 과도하게 수정되는 경향을 가져 동일한 토지 피복 구성에서 태양 입사방향과 떨어진 방향의 경사(즉, 북반구의 북사면) 지역이 태양을 바라보는 사면(즉 남쪽방향 사면)에 비해 더욱 밝게 나타나는 경향이 있다. 이것은 북사면의 기울기 값이 γ (입사각의 코사인)보다 작다는 것을 나타낸다. 특히 γ 가 작아지는 상태에서 영향이 크다.
- 복사량 값을 태양 입사각의 코사인 치로 나누는 기법은 동질한 피복형태로 인지되는 지역에서 개개의 화소에 대한 편차를 증대시킨다.
- 대부분의 기법들은 직접적인 태양광의 방사와 이에 따른 복사량에 관해서만 고려한다. 그러나 산란 요소들은 국부적인 지형에 의해서도 영향을 받는다.
- 파장에 의존하는 외형상 반사에는 강한 이방성이 자주 나타난다. 따라서 모델링 과정에서 태양, 지표, 감지기의 위상 관계가 고려되어야만 한다.
- 요구되는 수정량은 파장의 함수이고 중적외선 파장대에는 특별한 주의를 기울여야만 한다.
- 깊은 계곡과 같이 심하게 그림자진 지역에서는 지형적 영향을 완전히 제거할 수 없다.

영상에서 지형적 영향을 제거하기 위해서는 우선적으로 Landsat TM이 통과하는 시기의 태양 밝기와 대응하는 음영기복이 DEM을 이용하여 계산되어야 한다. Landsat TM 영상과 함께 공급되는 태양의 방위각과 고도각의 천문정보가 이 조명모델을 계산하기 위해 이용된다. 이 음영기복모델은 코사인 법칙의 특별한 응용으로 이론적으로 -1.0에서 1.0사이의 사이의 결과 값들을 8비트 범위의 디스플레이 장치의 256단계의 밝기값으로 표현하게 된다. 구형 기하학 코사인 법칙의 Lambertian 가정에 따라 각 화소에서의 코사인 값은 (식 II-15)를 이용하여 계산된다.

$$\gamma = \cos \theta_o \cos \theta_n + \sin \theta_o \sin \theta_n \cos(\psi_n - \phi_o) \quad (\text{식 II-15})$$

여기서

- γ = 태양입사각과 국부적인 지표 법선 사이의 코사인각
- θ_o = 태양의 천정각

- θ_n = 지표면 경사
- ϕ_n = 태양 방위각
- ψ_o = 지표면 방향각

TM자료의 각 밴드별로 1차 지형 평준된 영상을 얻기 위하여 (식 II-16)를 이용하여 선형변환을 실시한다.

$$\delta DN_{\lambda ij} = DN_{\lambda ij} + (DN_{\lambda ij} \times \frac{(\mu_k - X_{ij})}{\mu_k}) \quad (\text{식 II-16})$$

여기서

- $\delta DN_{\lambda ij}$ = 밴드 λ 에서의 픽셀 ij에서의 정규화된 복사값
- $DN_{\lambda ij}$ = 밴드 λ 에서의 픽셀 ij에서의 원 복사값
- μ_k = 0 ~ 255 사이의 조명모델에서의 전체 평균 조명값
- X_{ij} = 0 ~ 255 사이의 픽셀 ij에서의 조명값

TM 영상자료에 대한 이 첫 단계 정규화 알고리즘의 적용은 평균 분광반응은 유지되며 편차가 감소하는 것을 보여준다. 그러나 지형효과를 감소하는데 있어 이 정규화 알고리즘은 부분적으로만 성공적임을 보여준다. 인공 구조물의 조명과 그림자는 완전히 제거되지 않는다. 다양한 경사와 방향을 가진 몇 가지 균질한 피복항목에 대한 분광 반응 실험은 첫 단계의 변형이 부적절하다는 것을 나타내었다. 일반적으로 북쪽사면은 여전히 상대적으로 더 어둡고 남쪽사면은 더 밝다. 적외선 밴드를 포함한 다양한 밴드조합에서 지형영향이 여전히 나타나는 것을 화면상에서 확인할 수 있다.

Civco(1989)는 지형영향을 더욱 줄이기 위한 노력의 일환으로 활엽수림 항목의 전체 평균 밝기와 북쪽 사면과 남쪽 사면에서 동일한 수의 많은 표본들의 밝기값을 비교하여 실험적으로 유도된 수정계수를 도입하였다. 균등하게 혼합된 활엽수림 지역의 분광 반응차이는 북쪽 사면과 남쪽 사면의 평균과 분산에서 계산되어진다. 수정계수 (C_λ)는 각 밴드별로 다르고 활엽수림 항목의 평균 밝기값과 평형을 유지하기 위한 조절치(상향 또는 하향)에 기초한다. 이러한 수정계수는 (식 II-17)에 의해 계산되어진다.

$$C_\lambda = \frac{[(\mu_\lambda - N_\lambda) / ((\mu_\lambda - N_\lambda) - (\mu_\lambda - N'_\lambda)) + (\mu_\lambda - S_\lambda) / ((\mu_\lambda - S_\lambda) - (\mu_\lambda - S'_\lambda))]}{2} \quad (\text{식 II-17})$$

여기서

C_λ = 밴드 λ 에 대한 수정 계수

μ_λ = 활엽수 항목에 대한 전체 평균 밝기값

N_λ = 원자료의 북쪽사면 활엽수림의 평균 밝기값

N'_λ = 1차 정규화된 북쪽사면 활엽수림의 평균 밝기값

S_λ = 원자료의 남쪽사면 활엽수림의 평균 밝기값

S'_λ = 1차 정규화된 남쪽사면 활엽수림의 평균 밝기값

밴드별로 2차 지형 정규화된 밝기값을 구하기 위한 선형변환은 (식 II-16)과 유사하다. 이들 계수들은 처리되지 않은 Landsat TM 자료에서 나타나는 지형영향을 좀 더 수정하기 위해 사용된다.

$$\delta DN_{\lambda ij} = DN_{\lambda ij} + \left((DN_{\lambda ij} \times \frac{(\mu_k - X_{ij})}{\mu_k}) \times C_\lambda \right) \quad (\text{식 II-18})$$

여기서

$\delta DN_{\lambda ij}$ = 밴드 λ 에서의 픽셀 ij에서의 정규화된 밝기값

$DN_{\lambda ij}$ = 밴드 λ 에서의 픽셀 ij에서의 원 밝기값

μ_k = 0 ~ 255 사이의 조명모델에서의 전체 평균 조명값

X_{ij} = 0 ~ 255 사이의 픽셀 ij에서의 조명값

C_λ = 밴드 λ 에 대한 실험적으로 유도된 수정 계수

지형 영향의 저감 타당성은 다음과 같은 방법으로 평가될 수 있다.

- 원 영상, 1단계 정규화, 2단계 정규화된 TM영상의 화면상 비교, 조사
- 원 영상, 1단계 정규화, 2단계 정규화된 TM영상의 평균과 표준편차의 조사를 통한 동질성의 검사
- 원 영상, 1단계 정규화, 2단계 정규화된 TM영상의 무감독 분류를 통한 동질성의 검사

2.1.2. 선행 확률(Prior probability)을 포함한 Maximum-Likelihood 분류

매개변수에 의한 분류 방법에서 동일한 분류 항목은 정의된 경계내에 포함된 자료 그룹들이라는 가정에 기초한다. 일반적으로 N차원 공간에서의 다중 정규분포가 가정된다. 가장 잘 알려져 있고, 주로 이용되는 매개변수를 이용하는 감독 분류자중의 하나는 Maximum-likelihood 분류자이다. 이 분류자는 기본적인 다중 정규분포의 가정이 유효할 때

유효한 결과를 보여준다. 이 방법의 성공을 위해서는 아주 한정된 수의 Training지점들과 이들의 광학적 분포 변형에 대한 기본조건이 충족되어야 한다. 이 방법은 가장 발전된 분류방법으로 생각되어져 왔으나, 모든 다른 매개변수 분류자와 같이 Maximum-likelihood 분류자는 복잡하고 비균질한 환경하에서 흔히 발생하는 피복 항목의 오분류와 같은 한계를 가진다. 또한 모든 매개변수에 의한 분류자들은 주어진 범위내에서 매우 많은 종류의 피복 항목을 가질 때 면적 추정 정확도가 현저히 부족하다.

이러한 문제들을 극복하기 위해서 몇몇 연구자들은 최근 자연 상태의 피복상황에서 주로 비 매개변수 방법의 사용을 제안하였다. 이러한 방법들은 자료의 광학분포형태에 관한 가정을 하지않고 결정함수에 의해 분류될 수 있어 광학적으로 불규칙한 상황하에서 많은 장점이 있다. 이론적인 측면에서 이 방법들은 피복항목과 정의된 분광등급간의 낮은 상관성에서 발생하는 문제들을 극복하기 위한 시도로, 특히 많은 응용에서 전통적인 매개변수에 의한 방법에 비해 더 정확하게 수행되었으며, 분류 항목에 대한 면적 추정 능력 역시 향상되었다. 그러나 이런 장점과 더불어 비변수적 분류자에서는 Training 지역의 편향성에 민감하게 반응한다. 사실 자료분포 형태에 대한 가정의 결핍은 통계적으로 전체 집단을 대표하지 못하는 잘못된 분포에 의존하게 한다. 특히 적은 수의 Training 지역일 경우 이들 방법은 실행 불가능하다. 2가지 기본적인 방법의 통합을 위한 시도는 Swain과 Davis(1978), Strahler(1980)의해 설명된 Maximum-likelihood 방법에 선행확률을 도입하는 이론과 Skidmore와 Turner(1988)에 의해 실현된 비변수적 분류방법에 근거하여 설명된다. 이 새로운 방법은 전통적인 Maximum-likelihood 방법의 안정성을 비변수적 분류자의 올바른 면적추정에 대한 유연성과 적합성에 결합하는 것이다.

Maselli, Conese, Petkov와 Resti(1992)는 매개변수를 이용한 분류자와 비매개변수적인 방법의 통합을 위해 선행확률을 이용한 Maximum-likelihood 방법을 제안하였다. 이들은 비매개변수적인 방법을 통해 획득된 선행확률을 기존의 Maximum-likelihood방법에 도입하여 이들 분류 방법들간의 장점을 통합하는 시도를 하였다. 이들은 선행확률 P를 결정하기 위해 Skidmore와 Turner(1988)에 의해 제안된 수학적 확률 (식 II-19)를 도입하였다.

$$P = Fr / Frt \quad (\text{식 II-19})$$

여기서

Fr = 픽셀벡터에서 시험하는 분류항목의 픽셀 수

Frt = 픽셀벡터에서 모든 분류항목의 픽셀들의 합

각 분류항목의 선행 확률이 P이면, 이 확률을 (식 II-20)과 같이 Maximum-likelihood 분류 과정의 식별함수를 수정하여 도입하게 된다.

$$F = (X-M)' C^{-1}(X-M) + \text{Ln}|C| - 2 \text{Ln}(P) \quad (\text{식 II-20})$$

여기서

X = 픽셀 벡터

M = 시험하는 분류항목의 평균벡터

C = 시험하는 분류항목의 분산-공분산 행렬

선행확률은 사전 독립된 정보나 지표 정보의 무작위적인 표본 뽑기와 같이 다양한 방법으로 추정 가능하다. Skidmore와 Turner의 연구에서는 선행 확률 P를 표본 빈도 히스토그램에서 찾을 수 있는 가능성을 제시하였다. 빈도 히스토그램은 피복항목의 객관적인 특성을 직접적으로 표현하기 때문에, 피복항목들의 본질적인 속성을 설명할 수 있다. 이를 이용하여 가정을 설정하고, 선행확률을 유도하기 위해 이용될 수 있다. 따라서 이 확률은 피복항목들의 결정을 위해 이용 가능한 정보를 증가시키는 전통적인 매개변수 분류자에 포함될 수 있다. 응용측면에서 이런 통합은 제한이 없이 두 시스템의 장점을 결합하여 좋은 결과를 도출할 수 있다. 특히 이 새로운 방법은 전체 집단을 대표하지 못하는 편향된 Training 표본의 선택으로 인한 부정적 영향을 방지할 수 있는 통계적으로 안정된 매개변수(평균, 분산, 공분산)를 사용하기 때문에 적은 수의 Training 샘플을 이용한 경우에도 매개변수를 이용하는 분류자의 안정성을 보여줄 수 있다. 또한 비매개변수적 측정은 절차상의 유연성과 면적 추정에서의 획기적인 향상을 가능케 한다.

2.2. 식생분류비용

항공사진을 이용한 수종분류와 위성영상자료를 이용한 수종분류간의 비교를 위하여 자료조사비용을 비교하면 인공위성을 이용한 자료의 조사가 매우 경제적이라는 것을 파악할 수 있다. 다음의 < 표 II-3 >은 항공사진과 Landsat자료의 비용차이를 보여주고 있다.

< 표 II-3 > 항공사진과 Landsat 디지털자료의 비용비교

| 면적(폭*길이,km) | | 자료종류 | 필요자료수 | 비용 | 비용/km ² |
|-------------|---------|-----------------|--------|------------|--------------------|
| 185*170 | | Landsat TM(디지털) | 1 | \$ 4,400 | \$0.14 |
| 비입체 항공사진 | 185*170 | 1:40,000 항공사진 | 609 | \$ 7,308 | \$0.23 |
| | 185*170 | 1:24,000 항공사진 | 1,680 | \$ 20,160 | \$0.64 |
| | 185*170 | 1:10,000 항공사진 | 9,545 | \$ 114,540 | \$3.64 |
| 입체 항공사진 | 185*170 | 1:40,000 항공사진 | 1,363 | \$ 16,356 | \$0.52 |
| | 185*170 | 1:24,000 항공사진 | 3,744 | \$ 44,928 | \$1.43 |
| | 185*170 | 1:10,000 항공사진 | 21,390 | \$ 256,680 | \$8.16 |

자료 : Roger M. Hoffer, Challenges in Developing and Applying remote Sensing to Ecosystem Management, V. Alaric Sample(ed.)(1994), Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, p.31

주 : 비입체항공사진의 경우 endlap은 10%, sidelap은 30%인 것으로 가정하여 계산하였음.

항공사진을 이용한 수종구분은 축척과 사진의 질에 좌우된다. 대축척 항공사진에서 수목의 구분은 수목의 성장형태, 가지형태, 수관이 많이 이용된다.

1:600의 대축척 항공사진에서는 거의 모든 수종이 구분가능하며, 이 축척에서는 가지의 구조, 잎의 배열과 완벽한 성장이 이루어진 수관의 모양이 중요한 단서가 된다. 1:2,400-1:3,000의 축척에서도 중간크기정도의 가지는 구분이 가능하며, 수종개개의 수관을 구분할 수 있다. 1:8,000의 축척에서도 개개의 수종은 구분이 가능하나, 수관의 형태를 완벽히 구별하기는 어렵다. 1:20,000의 축척에서부터는 개개의 수관은 구분되지 않으며, 이 축척부터는 톤과 질감이 중요한 구분기준이 된다.

수종의 구분에 가장 많이 사용되고 있는 것은 1:15,840-1:24,000 축척의 흑백적외선항공사진으로 여기에서는 활엽수와 상록수의 구분이 확실하며, 컬러항공사진이나, 컬러적외선 항공사진은 사진의 축척을 향상하는데 사용된다.

이와 같은 관점에서 현재 가장 많이 사용되고 있는 Landsat TM자료와 SPOT 자료의 비용을 비교해 보면 SPOT위성의 비용이 약4-22배까지 더 소요되는 것을 알 수 있다. 따라서 우리 나라에 적용시 우리나라의 지역별로 어떠한 위성자료를 사용하는 것이 타당한가를 판단하여 최적의 위성영상자료를 선정하는 것이 비용을 줄이는데 많은 기여를 할 것이다. < 표 II-4 >는 다양한 센서의 인공위성영상 간의 비용을 비교한 것이다.

< 표 II-4 > 위성영상센서간의 비용비교

| 구분 | LANDSAT 1,2,3 | Landsat 4, 5 | SPOT 1,2,3 | |
|----------------------|---------------|--------------|-------------------|------------------|
| 센서 | MSS | TM | Multispectral HRV | Panchromatic HRV |
| 위성영상비용/1scene | \$1,000 | \$4,400 | \$2,450 | \$2,450 |
| 비용/mile ² | \$0.08 | \$0.36 | \$1.75 | \$1.75 |

자료 : Roger M. Hoffer, Challenges in Developing and Applying remote Sensing to Ecosystem Management, V. Alaric Sample(ed.)(1994), Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, pp.34-35

주 : 위성영상비용은 1992년도 기준으로 비교하였음.

3. 식생분류 정확도

위성영상자료를 이용한 식생분류는 1972년부터 획득된 Landsat의 MSS자료로부터 분류가 가능하다. 미국의 경우 이 MSS 자료를 이용한 식생지역과 비식생지역의 구분은 분류정확도가 약 90%정도 이며, 상록수, 활엽수, 혼효림의 구분은 약70-80%수준의 분류정확도를 가지는 것으로 평가되었다.

이후 1982년부터 Landsat TM자료의 이용이 가능해짐에 따라 지상해상력과 분광해상력의 증가로 인하여 이의 분류정확도가 한층 개선되었으며, 또한 고해상도 위성영상자료가 사용가능해지는 시점에서는 분류의 정확도를 더 한층 향상시킬 수 있을 것이다.

위성영상자료를 이용한 식생분류는 초기에는 한 개의 계절자료만을 이용하여 분류가 이루어졌으나, 최근에는 여러 계절의 자료를 혼합하여 이용하는 방법으로 분류 정확도를 높이고 있다. 일례로 각각의 수종들은 계절에 따라 상이한 반사특성을 나타내고 있으므로, 이 특성을

적절히 조합하여 이용한다면 수종간의 구분을 보다 명확하게 수행할 수 있으며, 이와 같은 원리를 이용한 예를 제시하면 다음의 < 표 II-5 >와 같다.

< 표 II-5 > 다중계절의 특성을 이용한 식생분류

| 수종 | 수종특성 | 주요 분광특성 | | 계절 |
|--------|----------|---------|------|---------|
| | | 근적외선 | 가시광선 | |
| 단풍나무류 | | 높음 | 높음 | 초가을 |
| 참나무류 | | 높음 | 높음 | 늦가을 |
| 물푸레나무류 | | 낮음 | 높음 | 늦여름-초가을 |
| 사시나무류 | 새싹이 빨리 틈 | 높음 | 낮음 | 봄 |
| 잎갈나무류 | | 낮음 | 높음 | 겨울 |
| 상록수 | 상록 | 낮음 | 높음 | 겨울 |

자료 : David J. Mladenoff and George E. Host, Challenges in Developing and Applying remote Sensing to Ecosystem Management, V. Alaric Sample(ed.)(1994), Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, p.226

Ⅲ. 국내·외 사례조사 및 분석

1. 식생지수

1.1. 정규식생지수를 이용한 북한산 국립공원 주변부 탐지

본 연구의 목적은 북한산 국립공원 경계선 일대의 추이대를 탐지하는 기법을 개발하여 추이대의 폭을 조사하고, 시간경과에 따른 추이대 폭의 변화 여부를 분석하여 과도한 이용자의 집중과 주변부의 환경오염에 의한 추이대 식생의 피해 여부를 규명하는 데 있다. 이를 위해서 1985, 1987, 1993년 5월 중순에 수신된 TM영상을 이용하여 계산한 정규식생지수(NDVI)를 도출하고, 버퍼링 작업에 의하여 경계선으로부터의 거리별 정규식생지수를 산출하여 추이대를 조사하는 방법을 제시하였다. 본 분석에 사용한 NDVI는 다음식과 같다.

$$NDVI = 128 \times \left(\frac{TM4 - TM3}{TM4 + TM3} + 1 \right) \quad (\text{식 III-1})$$

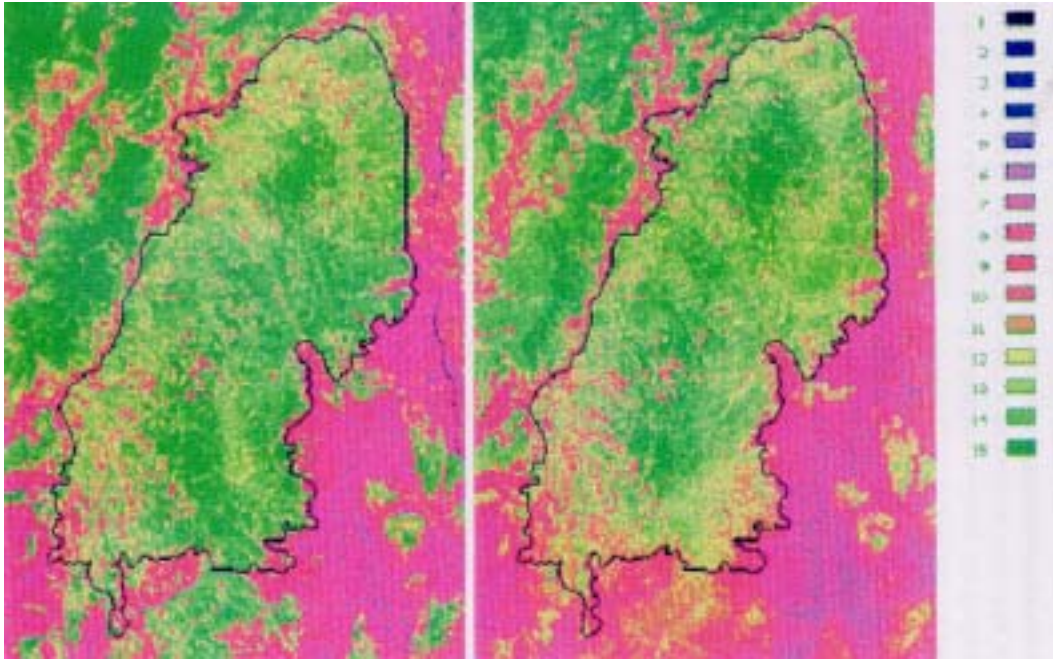
연구 결과, < 그림 III-1 >과 같이 대상지의 추이대 식생은 생물계절(Phenology), 인접지역의 토지이용의 영향을 받는 것이 확인되었으며, 1993년에는 1985년에 비해서 추이대의 폭이 약 2배로 증대되어 탐방객의 과도한 이용 등으로 인하여 공원 경계부에 인접한 식생 피해지역의 범위가 확대되고 있는 것으로 판명되었다.¹⁾

< 표 III-1 > 사례대상지역의 NDVI 결과

| 연도 | 전체Scene | 국립공원내(A) | 주변지역(B) | 비율(A/B) |
|------|----------|----------|----------|---------|
| 1985 | 173.2769 | 187.6720 | 164.9261 | 1.1379 |
| 1987 | 164.2091 | 178.5040 | 155.9051 | 1.1450 |
| 1993 | 167.8615 | 183.5722 | 158.7358 | 1.1565 |

자료 : 박종화(1995), “위성자료를 이용한 서울시 도시녹지의 평가기법 연구 : 북한산 국립공원 주변부 탐지”, 대한원격탐사학회지, 11(3):77

1) 박종화(1995), “위성자료를 이용한 서울시 도시녹지의 평가기법 연구 : 북한산 국립공원 주변부 탐지”, 대한원격탐사학회지, 11(3):71-81



< 그림 Ⅲ-1 > 북한산국립공원의 NDVI 지도 (왼쪽 : 1985. 5, 오른쪽 1993. 5)

자료 : 박종화(1995), “위성자료를 이용한 서울시 도시녹지의 평가기법 연구 : 북한산 국립공원 주연부 탐지”, 대한원격탐사학회지, 11(3):78

1.2. 식생지수를 이용한 환경영향평가

환경영향평가과정에 있어서 녹지자연도와 식생지수를 비교하여 식생지수(NDVI)의 활용가능성을 검토하고, 녹지자연도에 의존한 식물상의 평가방법을 개선하고자 하였다.

연구결과 울산지역의 식생지수는 녹지자연도의 등급이 높아짐에 따라 식생지수가 증가하였고, 등급간의 차이를 나타내었다. 그러나, 사계절중 한계절만으로 연구를 수행한 결과 녹지자연도의 2, 4, 6, 7등급 등 녹지자연도의 등급과 식생지수의 분석결과와 차이가 나타났었다.²⁾

이를 개선하기 위한 연구로 한지역에 대한 여러 계절의 자료를 이용하여 분석이 행해진 연구에서는 봄철의 이미지가 가을철의 이미지보다 상관성이 높은 것으로 분석되었으며, 가을철의 이미지에서는 식생의 경작지의 구분에 사용될 수 있다는 연구결과가 도출되었다.³⁾

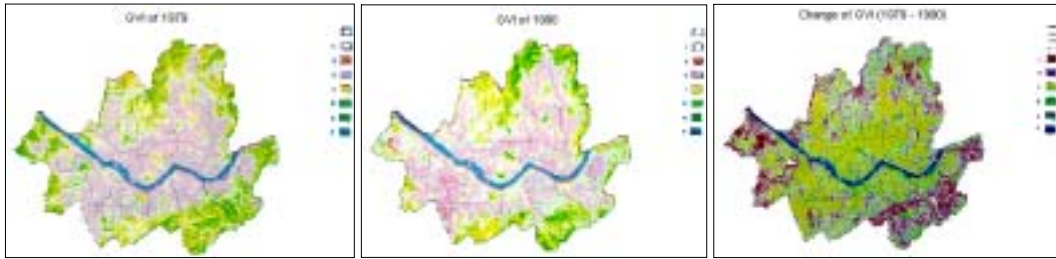
1.3. 녹색식생지수를 이용한 서울시 녹지변화

위성영상자료를 이용하여 1979년과 1990년의 서울 녹색식생지수(GVI)는 < 그림 Ⅲ-4 > 과 < 그림 Ⅲ-5 >와 같고 녹피율 및 활력도를 평가하였다. 이 작업은 종래의 현지조사 방법에 비해서 경제적으로 신속 정확하게 도시녹지의 공간적 분포 및 변화정도를 평가하고, 종래의 표본조사 결과의 일반화에 의한 오류를 극복하는 장점을 갖는다. 본 연구의 결론은 다음과 같이 요약할 수 있다.⁴⁾

2) 한의정 외5인(1997), “식생지수를 이용한 환경영향평가”, 한국환경영향평가학회지, 6(1) : 47-54

3) 한의정 외3인(1997), “식생지수와 녹지자연도의 비교평가”, 한국환경영향평가학회지, 6(2) : 181-188

4) 박종화(1992), “Landsat 녹색식생지수를 이용한 서울시 도시녹지 변화 조사”, 대한원격탐사학회지



< 그림 III-2 > 1979년 GVI < 그림 III-3 > 1990년 GVI < 그림 III-4 > 1979-1990년 간의 GVI 변화

첫째, 서울의 1979년의 GVI는 탄천 및 김포공항 주변의 논이 가장 높았고, 표고 250m 이하의 야산의 산림식생이 북한산 혹은 관악산 등의 높은 산에 비해서 양호한 것으로 판정되었다. 강북의 남산, 홍릉, 노고산, 와우산 등의 도심에 근접한 야산은 시가화 구역내의 잔존녹지로 존재하고, 도봉구 드림랜드 일대는 배후녹지와 단절되어가고 있다. 강남에는 미개밭지가 외곽에 넓게 분포하여 GVI 평균은 3.74로서 강북의 3.56에 비해서 식생이 양호한 편이다.

둘째, 서울의 1990년의 GVI에 의하면 시가화구역의 팽창에 따라서 잔존녹지의 규모가 축소되고, 도심에서 외곽에 위치한 녹지까지의 거리가 확대되었다. 즉, 1980년대에 강서구, 양천구 및 송파구 등지의 외곽에 존재하는 넓은 녹지가 훼손되어 강북과 강남의 GVI평균이 3.57과 3.51로서 강남이 더 열악한 결과를 얻었다. 골프장 및 경마장 등의 초지와 산림의 GVI가 논에 비해서 높은 것으로 판명되었는데, 이것은 모내기를 하지 않은 4월 하순에 수신된 위성영상의 사용 이외에 부동산 투기에 따른 방목 농경지 면적의 증가도 영향을 미친 것으로 판단되어 추후의 연구가 필요하다.

셋째, 1979~1990년 중에 녹지상태가 가장 심각하게 훼손된 지역은 양천구, 강서구, 송파구 및 마포구의 순서로 주로 대규모 택지의 개발, 공항 및 쓰레기매립장의 확장사업에 기인한다. 녹지가 현저히 악화된 지역, 즉 GVI 변화등급 1과 2에 속하는 격자 수는 전체의 15.94%에 달한다. 반면에 녹지가 현저히 개선된 지역, 즉 GVI변화등급 5와 6에 속하는 격자 수는 전체의 9.83%에 달한다. 산림식생 중에서 현저히 개선된 곳은 대모산, 구룡산, 우면산, 청계산, 불암산, 수락산, 남산 및 홍릉 등이며, 북한산과 관악산의 정상 혹은 능선 부근은 식생상태가 다소 악화되었다. 따라서, 대기오염의 악화 혹은 행락객의 과도한 이용압력에도 불구하고 서울의 산림식생은 전반적으로 향상되고 있다. 시설녹지 중에서 식생이 현저하게 향상된 곳은 < 그림 III-4 >에서 보는 바와 같이 한강시민공원이며, 경부고속도로 및 올림픽대로 변의 완충녹지도 상당히 향상되었다.

1.4. 식생지수와 녹지자연도의 비교평가

식생지수의 값에 따른 녹지자연도의 등급을 찾아내어 식생지수와 비교한 연구로 계절분석에 활용된 자료로는 춘천지역은 1989년 5월 2일 자료와 1994년 6월 1일이며, 울산은 1984년 11월 5일, 1992년 11월 2일, 1994년 5월 9일의 자료이다.

분석결과 울산지역에서 봄철의 이미지가 가을철 이미지보다 녹지자연도와 상관성에 있어서 높은 값을 나타내었으며, 가을철 이미지의 경우 녹지자연도와 의 관련성에 있어서 봄철의 이미지보다 낮지만, 식생과 경작지의 구분에는 사용될 수 있는 것으로 판명되었다. 특히

춘천과 울산의 봄철이미지는 녹지자연도등급과 0.6이상의 상관관계를 나타내므로 식생지수를 적용하여 녹지자연도를 보완하는데 사용할 수 있는 것으로 보인다.⁵⁾

본 연구에서는 주로 봄철과 가을철의 영상자료를 활용하여 분석한 것으로 녹지자연도가 가지는 자연성과 생태성을 정량화하여 분석하는데, 의의가 있었으나, 녹지자연도가 정확한 위치정보를 가지고 있지 않으며, 해상도의 차이가 커서 직접적인 비교에는 무리가 있는 단점이 있다.

1.5. 인공위성영상자료와 GIS 기법을 이용한 녹지자연도 등급판정 기법 개발

본 연구의 목적은 현재의 녹지자연도 등급 판정과정과 녹지자연도 지도가 가지고 있는 근본적인 제한점을 보완하는 측면에서, 원격탐사 위성영상자료와 GIS를 활용하여 보다 객관적이고 과학적인 녹지자연도 등급판정 기법과 지도제작과정을 개발하는데 있었다.⁶⁾

위성영상자료와 GIS를 이용한 녹지자연도 등급 판정기법은 우선 현재의 녹지자연도 조사 및 지도 제작 방법이 가지고 있는 시간적·비용적인 문제점을 해결할 수 있는 동시에, 전국을 동일한 기준의 일관된 작업과정을 적용함으로써 다수의 조사자에 의한 주관적 판단 기준과 대상 지역의 차이에 따른 불규칙적인 기준 적용의 문제점을 보완할 수 있었다.

본 연구는 넓은 지역의 식생조사에 있어서 유용하게 사용되고 있는 인공위성 원격탐사자료와 여러 국가 기관에서 제작되고 있는 지리정보시스템(GIS) 수치지도자료를 이용하여 보다 합리적이고 객관적인 기준으로 녹지자연도 등급을 사정하고 그 결과를 직접 지도로 제작하는 기법을 개발하고자 하였다. 위성영상자료를 처리하여 그 결과를 임상도를 비롯한 수치지도자료와 함께 분석하여 얻은 결과를 검토한 결과 다음과 같은 결론에 제시하였다.

첫째, 현재 전 국토의 60% 이상을 점유하고 있는 산림에 대한 가장 정확한 자료로서는 항공사진과 현지조사에 의하여 제작되고 있는 임상도를 활용하는 것이 녹지자연도 등급 판정에 가장 효과적이라 할 수 있다. 임상도가 비록 산림자원관리를 위한 목적으로 제작되었지만 녹지자연도 사정기준이 될 수 있는 수종구성, 임분의 평균년령, 수관밀도 등에 관한 속성을 가지고 있기 때문에 이러한 자료를 최대한 이용하는 것이 가장 효과적인 방법일 것이다.

둘째, 급증하는 토지수요와 레저인구의 확산으로 우리의 자연녹지 환경은 개발과 훼손에 따른 빠른 변화를 보여 주고 있다. 녹지자연도 등급 판정을 위하여 임상도를 기본적으로 활용하되, 임상도 제작시점 이후의 변화 지역이나, 임상도가 가지고 있는 오류를 조정할 수 있는 방안으로 최신의 위성영상자료를 활용하는 것이 가장 적절한 방법일 것이다.

셋째, 위성영상자료에서 산출되는 식생지수만으로 녹지자연도를 직접적인 판정해 내는 데에는 다소 무리가 있으며, 선행되어야 할 여러 가지 한계를 내포하고 있다. 녹지자연도는 인위적인 분류 기준을 많이 포함하고 있기 때문에 식생에서 반사되는 물리적인 분광반사특성에 기인한 식생지수만을 의존할 수 없을 것이다.

넷째, 녹지자연도 산정에 식생지수를 직접적으로 적용하기에는 어려움이 많지만, 임상도에 의하여 1차적으로 분류된 등급내에서 개발 및 훼손 지역이나, 생장에 따른 변화 등의 지역을

5) 한의정 외3인(1997), "식생지수와 녹지자연도의 비교평가", 한국환경영향평가학회지, 6(2) : 181-188

6) 이규성(1998), 인공위성영상자료와 GIS를 이용한 녹지자연도 등급판정 기법 개발, 환경부

찾아냄으로써 등급조정을 위한 수단으로는 매우 효과적으로 나타났다.

다섯째, 등급판정 및 등급 조정을 위한 공간자료로서 위성영상 이외에 수치지형자료의 효과적인 활용방안에 대한 연구가 필요하다. 특정 식생의 분포에 지형적 요인이 많은 영향을 미칠 수 있으므로, 고도, 경사 등의 단순한 지형인자 외에 식생의 분포에 영향을 미칠 수 있는 국소지형인자에 개발과 적용이 요구된다.

여섯째, 위성영상자료와 지리정보시스템을 이용한 녹지자연도 분석은 등급사정에 객관성을 기할 수 있다는 장점 이외에도, 도면제작의 효율성을 꼽을 수 있다. 아무리 훌륭한 현지조사방법과 등급판정기준이 마련되어도, 최종적인 활용은 결국 도면에 의존하게 되는데 위성영상과 GIS에 기반을 둔 녹지자연도 제작은 가장 과학적이고 효과적인 방안이다.

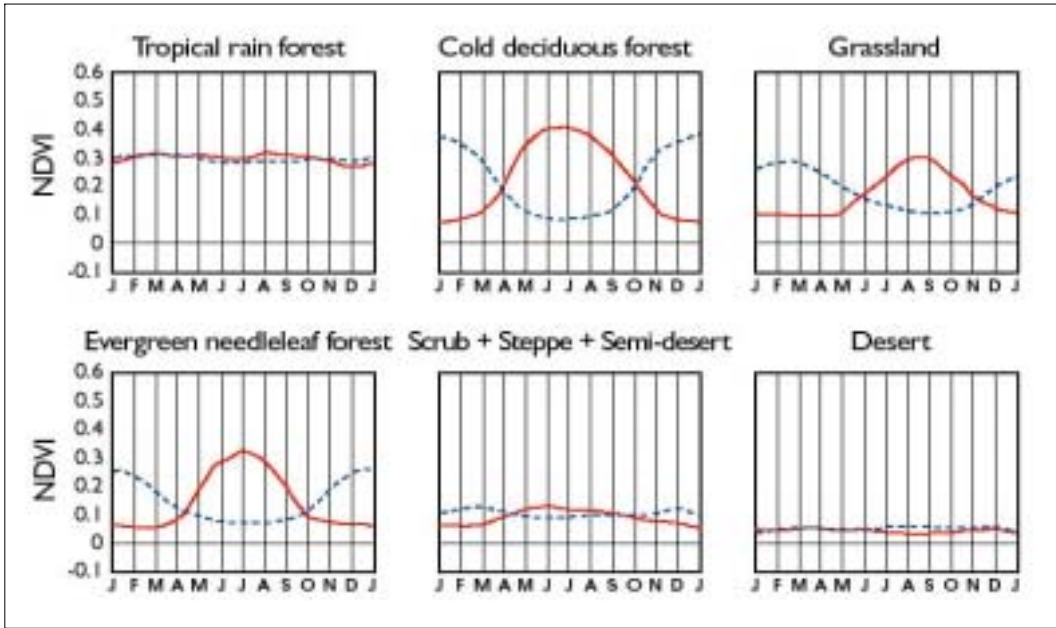
1.6. AVHRR과 SeaWifs 위성자료를 이용한 광역식생지수

NOAA AVHRR 영상자료는 지구 전체를 덮고 있는 지구 식생도를 생성하는데 매우 유용하다. NOAA는 1982년 4월 이후 계속하여 주단위로 광역식생지수(GVI : Global Vegetation Index)의 형태로 지구상의 식생정보를 관측해왔다. 지구식생지수는 다음과 같이 계산되어진 정규식생지수에 대한 정보를 제공한다.

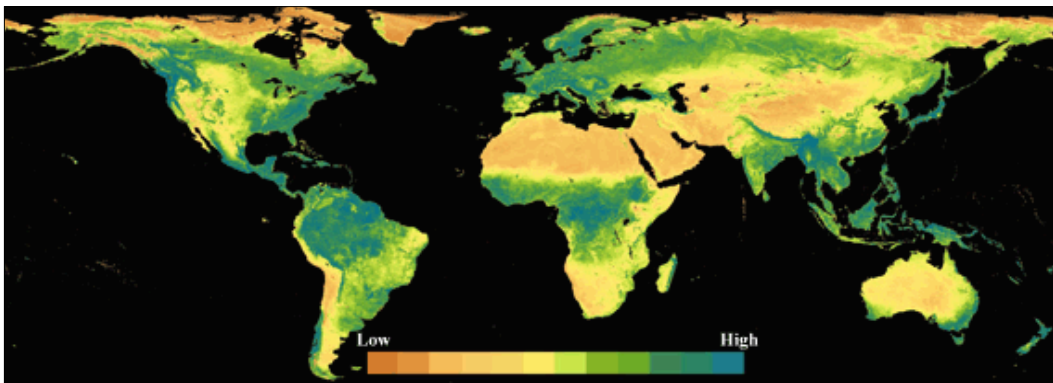
$$NDVI = \frac{NIR\ band - IR\ band}{NIR\ band + IR\ band} \quad (\text{식 III-2})$$

정규식생지수는 생물자원의 강도를 나타내는 지표이다. 정규식생지수가 크면 클수록 식생의 밀도가 높아진다. NOAA AVHRR의 원래 해상도는 적도의 화소당 1.1km이지만 광역식생지수는 적도의 화소당 16km x 16km의 낮은 해상도를 가진다. 낮은 해상도에도 불구하고 광역식생지수는 지구 식생도를 작성하는데 매우 유용하다. 많은 잡신호가 주 데이터에 포함되므로, 잡신호에 영향을 받지 않는 월 단위로 모아진 광역식생지수가 사용되어야 한다.

< 그림 III-5 >은 각 범주의 식생의 계절적 변이를 도표로 보여준 것으로, 파란실선은 북반구를 나타내며, 빨간 점선은 남반구를 나타내고 있다. 이 지도는 지구차원의 식생지도를 만드는데 원격탐사의 가능성을 보여주는 것이다. < 그림 III-6 >는 SeaWiFS위성의 광역식생지수자료로 1999년 8월 식생도를 만든 것이다.



< 그림 III-5 > 각 범주의 식생의 계절적 변이



< 그림 III-6 > SeaWiFS위성 NDVI자료에 의한 세계 식생도

주 : SeaWiFS Level-3 Standard Mapped Images(1999.8월)

자료 : <http://seawifs.gsfc.nasa.gov/cgihrs/level3.pl>

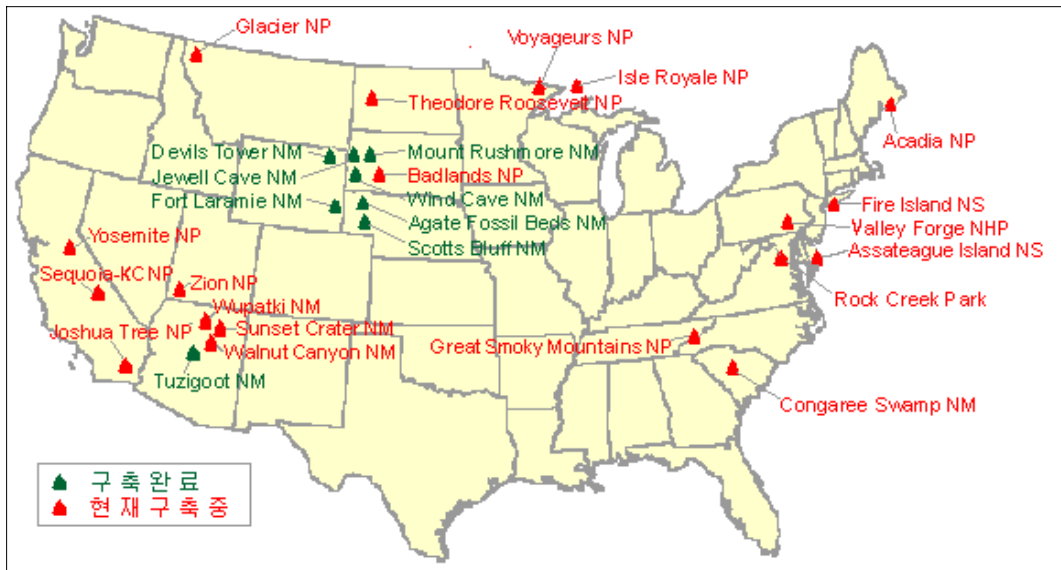
2. 식생분류

2.1. 美. USGS-NPS의 식생도 제작사업

2.1.1. 개요

미국 지질조사국(USGS)-국립공원관리국(NPS)의 식생도 제작사업은 1994년 Inventory and Monitoring사업의 일환으로 시작되었다. 본 사업의 목적은 미 전국에 걸친 235개 국립공원의 자원관리, 식생관련연구 촉진, 계획과 지원, 정보기반 해석의 능력지원, 운영지원에 있다. USGS와 NPS는 식생도 제작의 목적을 다음과 같이 정의하고 있다. 식생도는 각 국립공원의 국부적인 관리목적에 충족시키면서 국가적·지역적 차원에서 종합적인 식생정보를 제공하여야 한다. 기본적으로 검증된 과학적 방법에 기인하여야 하고 일정한 기준에 의존하여야 하며, 결과물은 정밀성과 정확도에서 일관성을 가진 GIS기반 수치지도를 산출한다는 목적과

원칙을 가지고 있다. < 그림 III-7 >은 USGS-NPS 식생도 제작사업의 1999년 8월 현재의 진행현황을 보여주고 있다.



< 그림 III-7 > USGS-NPS 식생도 제작사업 진행현황

자료 : <http://biology.usgs.gov/npsveg/classification>

2.1.2. 식생도 작성에 사용된 자료

USGS-NPS 식생도에서 사용한 기본자료는 항공사진이다. 식생의 지도화 작업은 항공사진이나 인공위성영상에서 동질한 식생유형을 식별하여 그 윤곽을 그리고 표준지도화방법을 통하여 지도상에 표현하였다. 각기 다른 식생유형의 특성(각 종의 물리적인 특성, 풍부도, 분포)으로 인하여 항공사진상에서 각 식생유형은 시각적으로 다른 형태를 이루므로 화상판독자는 특정 식생유형의 특성을 인지하기 위하여 질감(매끄러움, 거침), 색조의 대비, 색, 패턴, 군집, 수관의 상대적 크기, 위치 등을 주로 이용하여 분류한다(Avery 1977, Lillesand and Kiefer 1987). 단일개체만 관찰할 때 항공사진 상의 대부분의 개체는 식별이 어려우나, 함께 모아서 관찰한다면 각 식생유형의 독특한 패턴을 형성하므로 항공사진 상에서 식생의 분류를 가능하게 한다. < 그림 III-8 >은 USGS-NPS 식생분류 사업에서 사용한 Devils Tower 국립공원 지역의 1:12,000축척 천연색 항공사진이다.



< 그림 III-8 > Devils Tower 국립공원 지역의 항공사진

자료 : <http://biology.usgs.gov/npsveg/classification>

2.1.3. 식생도 제작을 위한 영상분석의 한계성

항공사진은 일반적으로 인공위성영상보다 뛰어난 지상해상도를 제공하지만 항공사진의 화상판독에도 그 정확성에 한계가 있다. 이러한 개념은 연속성(continuum) 위주로 윤곽을 그릴 것인가 아니면 군락수준(community level)에서 그릴 것인가에 대한 문제와 직결된다. 지도 또는 항공사진에서 윤곽선을 그리는 작업은 다른 식생유형 간에 뚜렷한 경계선을 구획하는 것이다. 그러나, 실제로 식생이 다른 식생유형 또는 피복유형과 뚜렷한 경계를 이루는 것은 극히 예외적인 일이다. 대부분의 식생유형은 점차적으로 혼합되면서 다른 유형으로 전환된다. 변화도가 급한 경우에는 뚜렷한 식생경계를 보이는 경향이 있으며, 변화가 점진적으로 이루어지는 지역은 식생유형 사이에 넓은 전이지역(transition zone)을 보이는 경향이 있다. 작업자는 실제 식생이 점차적으로 전이되고 있다하더라도 분리된 경계를 반드시 그어야 하며 각 식생분류 클래스를 지정하여야 한다. 그러므로 식생도는 제작방법에 관계없이 화상판독작업 시 상당량의 오차를 수반한다.

식생도 제작은 화상판독과 폴리곤과 실제식생유형을 식별·확인하는데 사용되는 여러 도구에 의해서 제한을 받게 된다. 즉, 식생유형을 식별할 수 있는 정도는 항공사진의 질, 축척, 계절 그리고 사용된 필름의 종류(흑백필름, 천연색 적외선 필름 등)에 따라서 좌우된다. 따라서, 식생분류에서 확인된 구획과 지도 폴리곤의 관계는 언제나 1대1로 일치하지 않는다. 때때로 식생분류에서 특정구획을 정의하는 식생특성을 영상으로부터 확인할 수 없는 경우가 있

다. 영상은 식생의 수관 위의 모습만을 보여주고 있으므로, 특정군락의 진단종일 수 있는 아교목층의 식생을 식별하기는 매우 어렵다. 예를 들면, 화상판독자는 영상으로부터 백송 우세림을 볼 수가 있지만, 아교목층의 매우 상이한 종구성을 식별할 수는 없다. 즉, 영상으로부터 유사성(alliance)의 상태는 확인할 수 있지만 군락형성요소(community elements)의 명칭을 명확하게 식별하기는 어렵다.

USGS-NPS는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 다음의 방법을 제시하고 있다. (1) 대상 폴리곤 지역을 현지 조사하여 정확한 군락형성요소 명칭을 부여하는데 필요한 정보를 수집한다. (2) 주요 지리적, 환경적 변수와 아교목층 조직과의 관계를 바탕으로 군락형성요소를 추론한다. 또 어떤 군락은 그 크기가 작아서 설정된 축척에서는 표현이 힘든 경우가 있다. 이러한 경우에 화상판독자는 해당 폴리곤의 레이블링을 함에 있어 다음 중 하나의 방법을 채택하여야 한다. (1) 하나 이상의 군락을 포함한 혼합군락으로 표기, (2) 폴리곤 내에서 가장 많은 면적을 차지하는 대표 클래스로 표기.

항공사진을 이용한 식생분류는 상당한 양의 주관적 판단이 요구된다. 그러므로 식생에 대한 판독자의 경험이 정확한 지도제작의 주요변수로 작용하게 된다. 그리고, 현장 실제탐사는 모든 지역을 대상으로 이루어 질 수 없으므로 일정수준의 오차를 수반하는 표본조사 기법을 사용할 수밖에 없다. 그러나 일관적인 의사결정규칙을 개발·적용함으로써 그 오차를 최소화할 수 있으며 그 오차의 범위를 명확히 할 수 있다. 다음은 Devils Tower 국립공원의 식생분류내용이다.

I 산림(Forest)

I.A 상록수림

I.A.8 온대 또는 아극대 침엽상록수림

I.A.8.N 자연성/반자연성

I.A.8.N.b 수관이 둥근 온대·아극대 침엽 상록수림

PINUS PONDEROSA 군락

Pinus ponderosa / Mahonia repens 임목지

I.B 낙엽수림

I.B.2 냉대 낙엽수림

I.B.2.N 자연성/반자연성

I.B.2.N.a 저지대 또는 산기슭 냉대 활엽수림

FRAXINUS PENNSYLVANICA - ULMUS AMERICANA 군락

Fraxinus pennsylvanica - Ulmus americana / Symphoricarpos occidentalis Forest

II 임목지(Woodland)

II.A 상록수 임목지

II.A.4 온대 또는 아극대 침엽 임목지

II.A.4.N 자연/ 반자연

II.A.4.N.a 수관이 둥근 온대 또는 아극대 상록침엽수 임목지

PINUS PONDEROSA 임목지 군락

Pinus ponderosa / Carex inops ssp. heliophila 임목지

Pinus ponderosa / Juniperus communis 임목지

Pinus ponderosa / Pseudotsuga spicata 임목지

Pinus ponderosa / Quercus macrocarpa 임목지

II.B 낙엽수 임목지

II.B.2 냉대 낙엽수 임목지

II.B.2.N 자연성/반자연성

II.B.2.N.b 일시적으로 범람한 냉대낙엽수림 임목지

일시적으로 범람한 POPULUS DELTOIDES 임목지 군락

Populus deltoides - (*Salix amygdaloides*) / *Salix exigua* 임목지

V 초본류

V.A 초원성 포아풀과 식생

V.A.5 온대 또는 아극대 초지

V.A.5.N 자연성/반자연성

V.A.5.N.c 온대 또는 아극대 중간 길이의 잔디 초지

PASCOPYRUM SMITHII 초본 군락

Pascopyrum smithii - *Bouteloua gracilis* - *Carex filifolia* 초본식생

군락 미확정

Poa pratensis Disturbed Community

SCHIZACHYRIUM SCOPARIUM - BOUTELOUA CURTIPENDULA

초본 군락

Schizachyrium scoparium - *Bouteloua (curtipendula, gracilis)* - *Carex filifolia* 초본식생

V.A.5.N.j. 일시적으로 범람된 온대 또는 아극대 초지

일시적으로 범람된 SPARTINA PECTINATA 초본 군락

Spartina pectinata - *Scirpus pungens* 초본식생

V.A.6 수목이 산재하는 일년성 온대 또는 아극대 초지

V.A.6.N 자연성/반자연성

V.A.6.N.f 침엽상록수 또는 혼합수림이 있는 중간길이의 온대 또는 아극대 초지

PINUS PONDEROSA 수림과 중간길이의 초본군락

Pinus ponderosa / *Schizachyrium scorparium*가 자라는 초본식생

V.A.7 산재된 관목층이 있는 온대 또는 아극대 초지

V.A.7.N 자연성/반자연성

V.A.7.N.e 산재된 침엽 상록관목층

침엽상록 관목이 있는 중간 길이의 온대 또는 아극대 초지

ARTEMISIA CANA 관목초본군락

Artemisia cana ssp. *cana* / *Pascopyrum smithii* 관목초본식생

V.A.7.N.g. 산재된 냉대 활엽관목이 있는 중간길이의 온대 또는 아극대 초지

RHUS TRILOBATA 관목초본군락

Rhus trilobata / *Pseudoroegneria spicata* 관목초본식생

VII 산재된 식생

VII.A 산재된 식생이 있는 암석

VII.A.1 식생이 산재된 절벽

VII.A.1.N 자연성/반자연성

VII.A.1.N.a 산재된 유관속 식생이 있는 절벽

암석 노두/봉우리 산재 식생

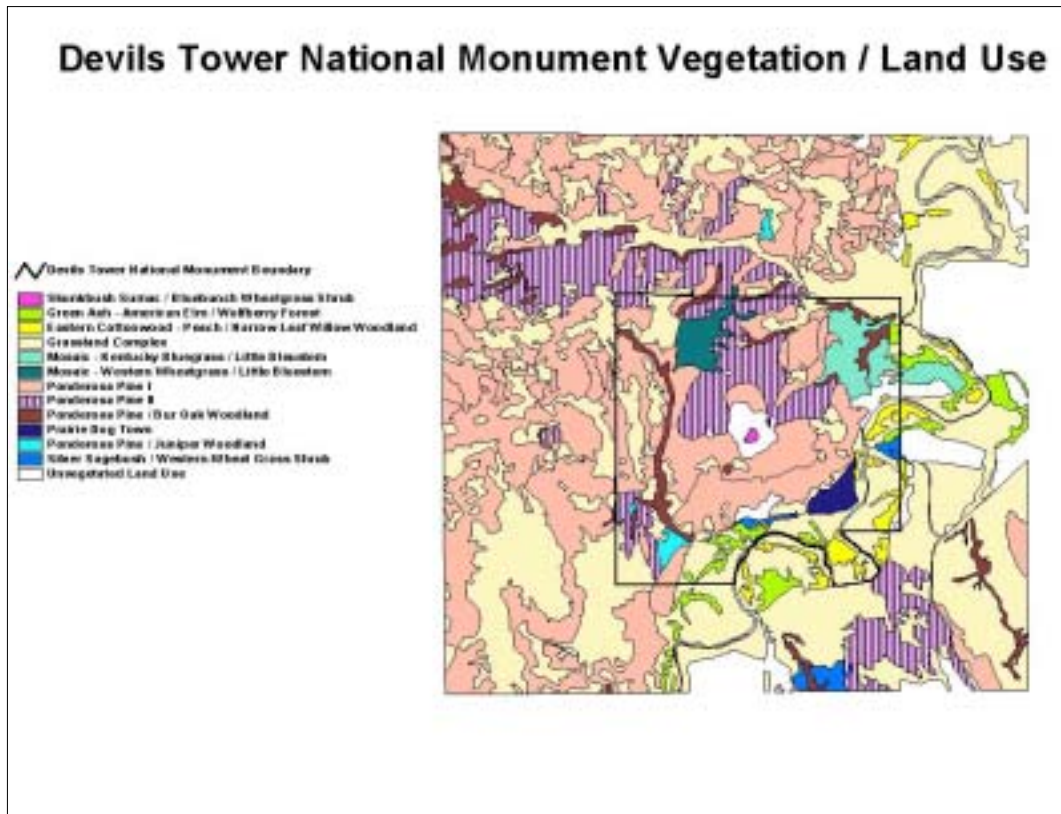
Phonolite Porphyry 산재 식생

Redbeds 산재 식생

2.1.4. 식생분류체계와 지도제작

NPS/NBS 프로젝트에서 산출된 모든 지도상의 식생 폴리곤의 속성은 the Nature Conservancy의 National Vegetation Classification 체계에 근거하여 지정하였다. 본 사업의 주

목적인 목록 작성과 모니터링에 요구되는 적정수준의 분류 및 지도제작의 목적을 충족시키기 위하여 1:24,000축척이 설정되었다. 가장 작은 폴리곤의 크기 또는 최소지도화면적(minimum mapping unit)은 0.5헥타르이며, 대상지역에 현존하는 모든 식생유형을 지도화하는 것을 원칙으로 한다. 이러한 식생도는 대상지역 내의 최소지도화면적 이상의 모든 식생클래스 폴리곤을 표현한다. 원칙적으로 모든 폴리곤은 National Vegetation Classification체계의 한가지 분류클래스의 속성만을 띠어야 하며 클래스 당 정확도는 80% 이상이다. < 그림 III-9 >는 Devils Tower 국립공원의 완성된 식생도의 그림이다.



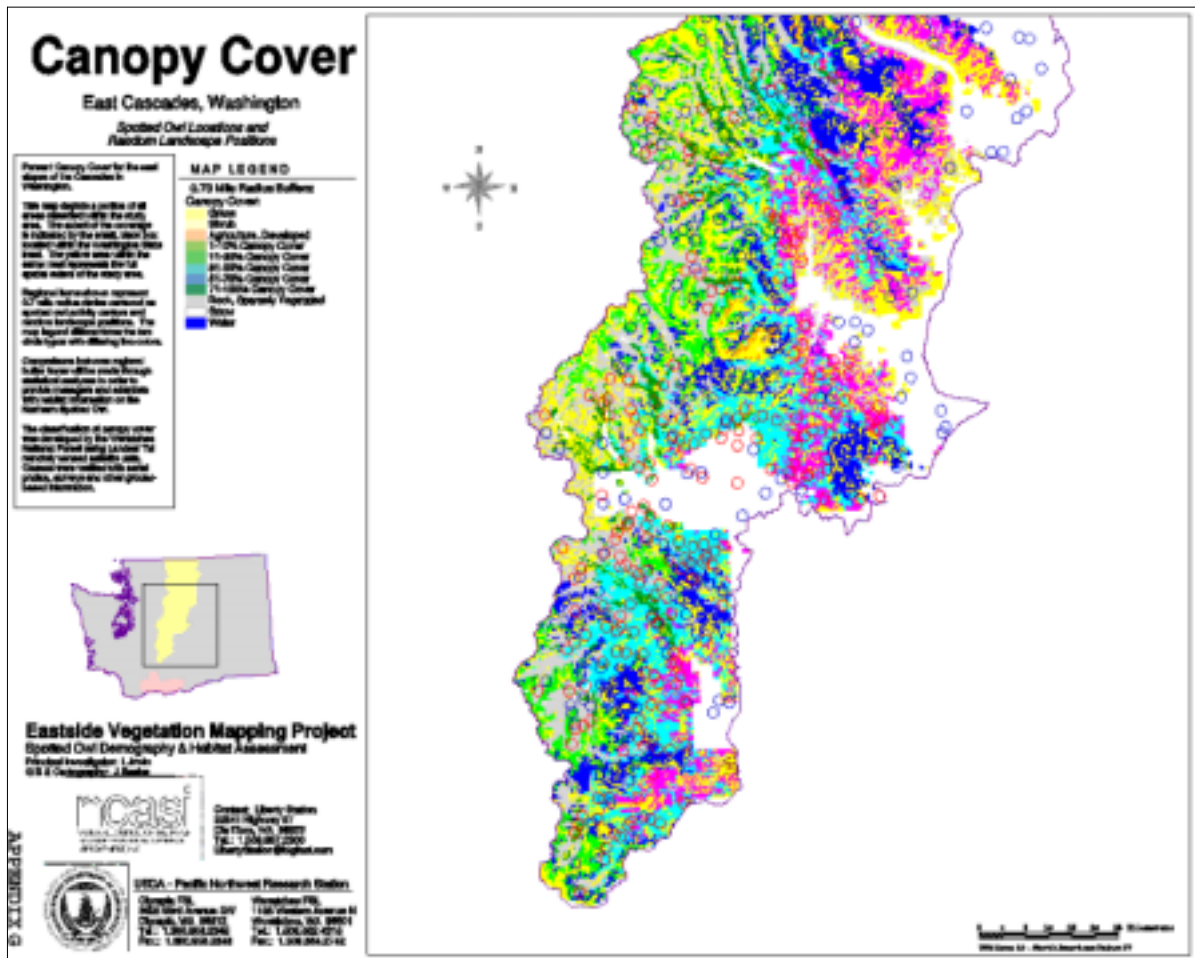
< 그림 III-9 > 미국 Devils Tower국립공원 지역의 USGS-NPS식생도

2.2. USDA와 NCASI의 Eastside 식생도 작성사업

미국의 농림부(USDA)와 NCASI가 공동으로 추진한 Eastside 식생도 작성사업은 美. Washington주의 East Cascade 지역의 식생상태와 올빼미의 서식지 현황을 비교하여 올빼미 서식지의 식생특성을 파악하는 것을 목적으로 하고 있다. 이 사업에서는 식생의 상태와 현황을 분류하는 주요 인자로 수관면적(Canopy Cover), 산림구조(Forest Structure), 산림구성(Forest Composition)을 설정하고 있다.

수관면적(Canopy Cover) 분류도는 Landsat TM 인공위성영상과 기타 참조자료를 이용하여 제작되었으며 기대 해상도는 +/- 100이다. 수관밀폐도(Canopy closure)의 조사는 항공사진, 현장조사 및 기타 참조자료를 사용하여 수행되었다. 수관면적은 수관밀폐도 70% 이상인 지역에서 가장 많이 나타났으며, 수관밀폐도 70% 이하의 면적은 동 지역의 10% 이하로 나

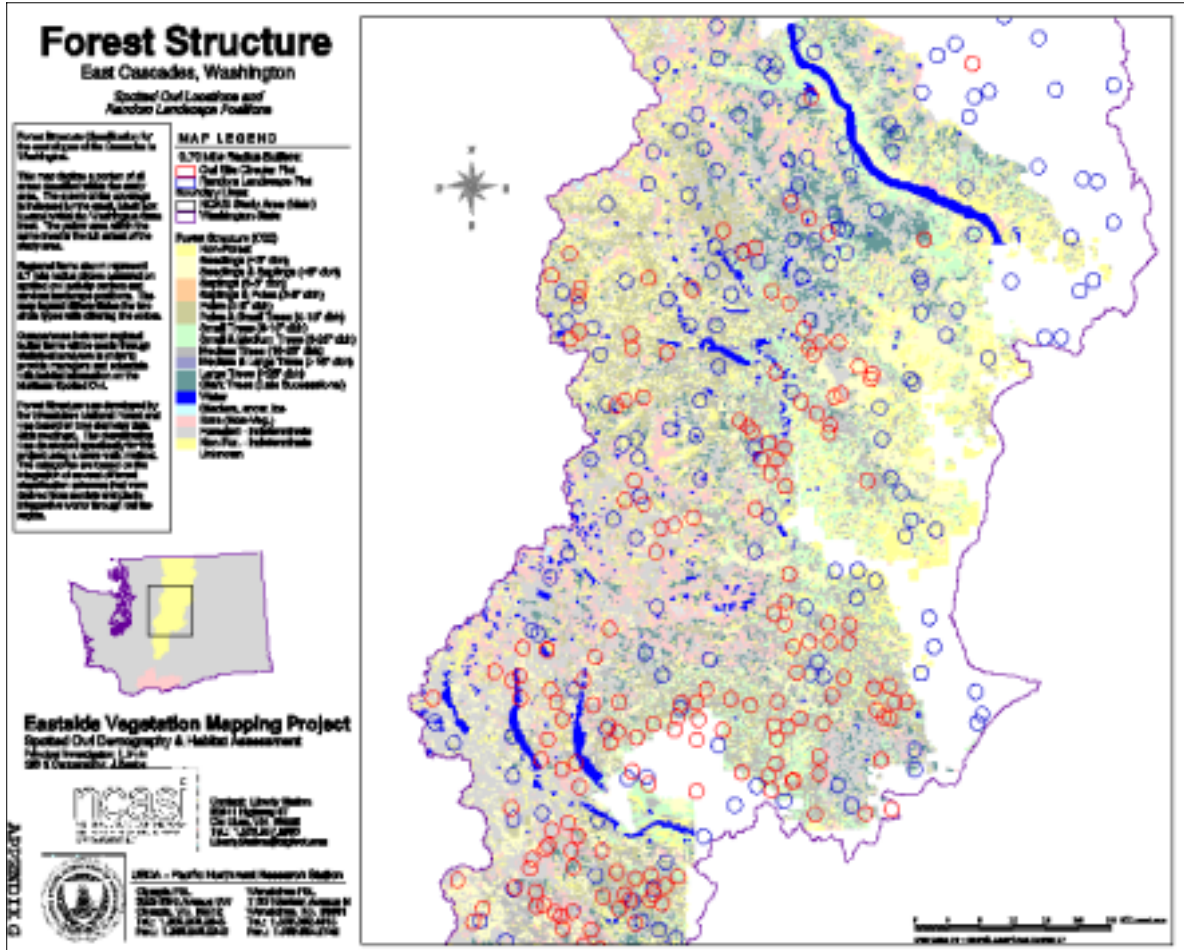
타났다. 조사결과 올빼미의 서식지는 수관밀폐도에 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(그림 III-10 참조).



< 그림 III-10 > 수관면적 분류도와 올빼미의 서식처 분포도

자료: <http://www.telear.com/%7eliberty1/ncasi/gis/Forest%20Attributes.htm>

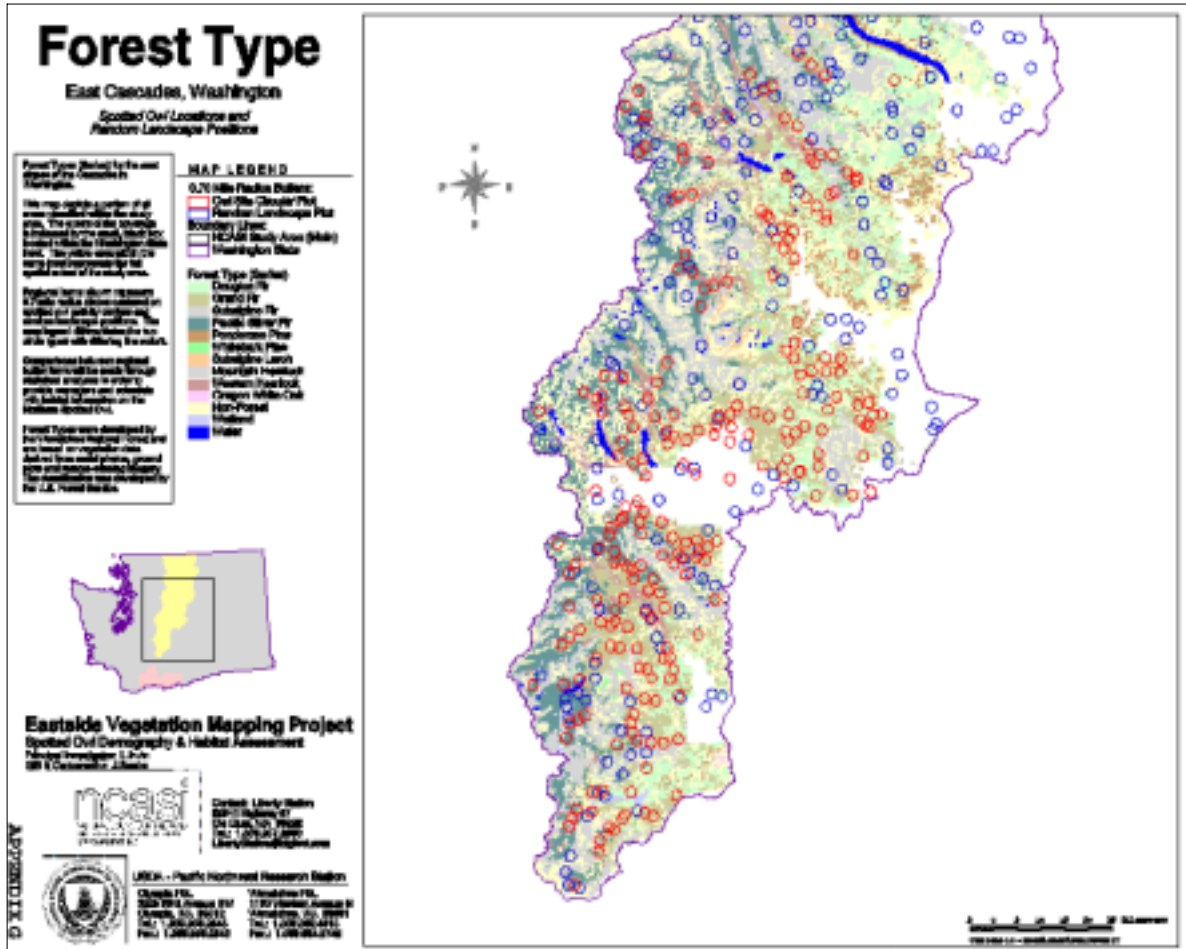
산림구조(Forest Structure)는 Landsat TM 인공위성영상자료와 항공사진을 사용하여 분류된 US Forest Service의 자료를 바탕으로 재분류되었다. 무작위로 설정된 표본지역의 산림 구조는 모든 범주에 대하여 8-13% 정도의 다양한 차이를 보이는 결과를 보였다. 올빼미의 서식지는 중간크기의 수목(흉고직경 16-25인치)이 비교적 많이(25-31%) 자생하는 지역에서 발견되는 경향을 보였다(그림 III-11 참조).



< 그림 III-11 > 산림구조 분류도와 올빼미의 서식처 분포도

자료: <http://www.telear.com/%7eliberty1/ncasi/gis/Forest%20Attributes.htm>

산림구성(Forest Composition) 역시 Landsat TM 인공위성영상과 보조자료를 사용하여 작성되었다. 대상지역의 주요 식생구성요소는 Grand Fir(*Abies grandis*), Subalpine Fir(*Abies lasiocarpa*)과 Pacific Silver Fir(*Abies amabilis*)가 50-53%를 차지한다. < 그림 III-12 >와 같이 Grand Fir(36-43%), Pacific Silver Fir(20-24%), Douglas Fir(15-20%)가 자생하는 지역에 올빼미 서식처가 많이 발생하는 경향을 보였다.



< 그림 III-12 > 산림구성 분류도와 올빼미의 서식처 분포도

자료: <http://www.telear.com/%7eliberty1/ncasi/gis/Forest%20Attributes.htm>

2.3. 美. 미네소타州的 위성자료를 이용한 산림자원 조사

Bauer *et. al.*의 논문에서는 미국 미네소타 주의 산림자원 관리를 위한 조사방법을 소개하고 있다. 총 대상 면적은 5개 군(county)을 포함하는 총 14,679 평방 마일이며, 분류체계는 6개의 산림클래스와 5개의 비산림 클래스로 분류하고 있다. 분류클래스는 < 표 III-2 >와 같다.

항공사진을 이용한 화상판독으로 산림분류를 실시할 시에는 100개 이상의 분류가 가능하지만 Landsat TM 위성영상을 이용하여 분류할 시에는 한정된 해상도로 인하여 자세한 수준의 분류가 사실상 불가능하므로 < 표 III-3 >과 같이 대군락 개념으로 분류클래스를 설정하였다.

< 표 III-2 > 미네소타주 산림자원조사 분류클래스

| 산림 클래스 | 비산림 클래스 |
|---|--|
| 저지 활엽수림 (Lowland Hardwoods) | 관목 / 벌채지 / 초지 (Shrub/Cutover/Grass) |
| 미루나무 / 자작나무림 (Aspen/Birch) | 농지 |
| 북부 활엽수림 (Northern Hardwoods) | 개발지 |
| 고지 침엽수림 (Upland Conifers) | 수역 |
| 발삼 전나무(Balsam Fir)/ 백가문비나무(White Spruce) 림 | 늪 / 습지 |
| 저지 침엽수림 (Lowland Conifers) | |

< 표 III-3 > 항공사진판독과 인공위성영상 분류결과의 비교

| 항공사진판독 클래스 | 인공위성영상 클래스 |
|---|---|
| 물푸레나무(Ash) | 저지 활엽수(Lowland Hardwood) |
| 느릅나무(Elm), 미루나무(Aspen)/자작나무(Birch), 미루나무(Aspen) | 미루나무(Aspen) / 자작나무(Birch) |
| 북부활엽수 (Northern Hardwoods) | 북부활엽수(Northern Hardwoods) |
| 고지 침엽수(Upland conifer), 적송(Red Pine), 백송(White Pine), Jack Pine | 고지침엽수(Upland Conifers) |
| 발삼 전나무(Balsam Fir) / 백가문비나무(White Spruce) | 발삼 전나무(Balsam Fir) / 백가문비나무(White Spruce) |
| 저지 침엽수(Lowland Conifers), 저지 흑가문비나무(Lowland Black Spruce), 아메리카 낙엽송(Tamarack), 북부 흰 삼나무(Northern White Cedar) | 저지 침엽수(Lowland Conifer) |
| 벌채지역(Cutover), 저지대 초지(Lowland Grass), 고지대 초지(Highland Grass), 덩불·잡목림(Brush) | 관목(Shrub)/벌채지(Cutover) /초지(Grass) |
| 경작지(Cropland), 방목지(Pasture) | 농지(Agriculture) |
| 도시 및 산업지역 (Urban and Industrial), 오락시설개발지(Recreational Development) | 개발지(Developed) |
| 수역(Water) | 수역(Water) |
| 늪(Marsh) 쇼택지(Muskeg) | 늪(Marsh) |

이 사업에 적용된 분류방법으로는 총 12가지의 분류방법을 사용하였다. 그 중 6가지는 Landsat TM의 6개 밴드이며, 나머지 6가지는 식생지수이다. 사용된 식생지수로는 Greenness, Brightness, Wetness로 구성되는 Tasseled Cap과 Landsat TM 4번과 3번 밴드의 조합, 4번과 2번 밴드의 조합, 5번과 4번의 조합을 사용하였다. Greenness는 식생을 감지하는데 가장 유효하고, Brightness또한 식생의 감지에 효용을 발휘한다. Wetness는 습지의 감지 및 고지대 식생과 저지대 식생을 구분하는데 효용을 가진다.

Landsat TM의 4번과 3번 밴드의 조합은 식생과 수관의 상태에 대한 정보를 제공하며, 4번과 2번 밴드 조합은 습지의 구분에 중추적인 기능을 발휘하고, 5번과 4번 밴드 조합은 침엽수의 수관구조와 연관되는 특성을 이용하였다. 그러나, 이러한 방법론에 의하여 분류된 결과로는 만족스러운 결과를 얻을 수 없으므로 Guided 클러스터링 방법을 사용하였다. Guided 클러스터링법은 88에이커 크기의 주 표본구역(Primary Sampling Units)을 343개소 설정하고 주 표본구역에 대한 현지조사와 항공사진판독을 실시하여 분류 트레이닝 자료 및 수정자료로 사용하였다.

수정방법으로는 역행 수정법(Inversed Calibration)을 사용하였다. 역행수정법은 위성영상으로부터 분류한 부분을 독립변수로 설정하고 현지탐사를 통하여 분류된 내용을 종속변수로 설정하여 수정을 시도하였다. 이러한 방법론을 사용하여 얻어진 전체 산림면적은 美. 농무부 Forest Service의 임상자원 통계와 3% 이내의 오차를 보였으며, 침엽수와 활엽수의 유형분류는 0.8%~6.0%의 오차를 보였다. 대부분의 오분류 지역은 서로 유형이 유사한 클래스 사이에서 발생하였으며, 최종결과물의 분류정확도는 75% 이상으로 나타났다.

2.4. 식생의 구조파악

Warren B. Cohen(1994)은 영상의 Semivariogram을 이용하여 다양한 형상과 구조를 가진 산림수목을 구분하는 기법을 그의 논문에서 다루고 있다.

Semivariogram이란 대상물체의 “공간적” 특성을 그래프로 표현하는 방법을 의미한다.

전형적으로 Semivariogram의 모양은 γ 와 h 가 최고점(sill)에 도달할 때까지 상승한다. 최고점(sill)에 도달 할 때까지의 거리(lag)를 범위(range)라 부른다. 범위(range)와 최고점(sill)은 자료의 특성을 묘사하는 가장 중요한 파라미터이다. 범위는 공간적 의존도(spatial dependency)또는 동질성(homogeneity)를 측정하는데 사용되며 최고점은 공간적 변이성의 양을 측정하는데 사용된다.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2(n-h)} \sum_{i=1}^{n-h} [z(x_i) - z(x_i+h)]^2$$

γ : Semivariance

h : Semivariance γ 가 측정되는 지점까지의거리(Lag)

n : $\gamma(h)$ 의 산출에 사용된 관측횟수

z : 공간위치 x_i 에서 대상의 변수값

< 그림 III-13 > Semivariance의 전형적인 모양

자료 : Warren B. Cohen M. Hoffer, GIS Application Perspective : Current Research on Remote Sensing of Forest Structure, V. Alaric Sample(ed.)(1994), Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, p.94

Cohen의 연구에서는 수관구조가 각기 다른 young, mature, old-growth, young-mix, mature-mix와 같이 5가지의 수목유형을 선정하였다. Young과 mature 수목은 상대적으로 간단한 수관구조를 보이고 old-growth와 mixed는 복잡한 구조를 보인다. 각 수목의 semivariogram은 영상의 적색밴드를 이용하여 DN값(digital number)을 구하였다. 이러한 분석은 다음의 두 가지 방법을 이용하였다: (1) 한 트랜섹트의 픽셀DN값을 산정하는 트랜섹트법; (2) 영상의 2차원 픽셀 매트릭스의 DN값을 이용하는 매트릭스법. 이러한 semivariogram을 이용한 분석법의 결론으로는, 매트릭스법은 수관구조를 상당히 정확하게 측정하는 구조적 파라미터 역할을 하며, 트랜섹트법은 수목의 유형(pattern)을 감지하는데 효용을 보인다는 결론을 얻었다. 그리고 semivariogram은 공간 해상도에 대단히 민감하게 영향을 받는다는 결론을 내렸다. 해상도 1미터의 항공사진을 이용한 매트릭스 semivariogram을 통해서도 수목의 수관크기를 상당한 수준에서 측정할 수 있었으나, 해상도 10미터의 SPOT HRV영상은 수관 크기의 대략적인 거친 정보만을 제공하였으며 해상도 30미터의 Landsat TM자료는 수관 크기를 측정하는데 효용을 발휘하지 못한다는 결론을 얻었다.

Cohen은 광학적 특성을 이용한 Tasseled Cap법을 다루고 있다. Cohen의 연구에 의하면 Tasseled Cap의 구성요소인 greenness, brightness, wetness중에서 wetness지수만이 수목속성과 밀접한 관계를 보였다. 이는 greenness, brightness는 수목의 상태보다는 지형적 변화에 더 민감하게 반응하기 때문이다. Wetness는 그림자와 수분의 양을 보여주는 지수이며, 수관

이 크고 구조가 복잡할수록 그림자의 영역이 커지므로 wetness가 높아진다는 이론이다. 즉, 높은 wetness지수가 수관의 크기를 암시하는 연관관계가 성립한다는 것이다.

정규식생지수(NDVI)는 위성영상자료중 단지 2개 밴드의 값만을 이용하므로 위성영상자료가 가지고 있는 특성을 충분히 이용하지 못하는 단점이 있으나, 계산의 간편성과 식생이 가지고 있는 특성과 이의 결과가 강한 관계를 가지고 있음에 기인하여 가장 많이 사용되는 식생지수 중 한가지이다. 그러나 이 지수는 식생의 활력도에 폭넓게 이용되나, 식생의 구조 파악에는 이용되지 못하고 있다. 식생의 구조는 생물종의 다양성과 관련 있는 인자로 수관의 구조가 다층화 될수록 생물종이 다양화되는 양의 상관관계를 가지고 있다.

< 표 III-4 > Tasseled Cap 지수와 수관구조와의 상관관계

| | HRV 질감 | 명도지수 (Brightness) | 녹색지수 (Greenness) | 습윤지수 (Wetness) |
|----------------|--------|----------------------|---------------------|-------------------|
| DBH(mn, all) | 0.55 | 0.44 | 0.44 | -0.60 |
| DBH(sd, all) | 0.88 | 0.53 | 0.55 | -0.87 |
| DBH(mn, upper) | 0.88 | 0.43 | 0.47 | -0.87 |
| CD(mn, all) | 0.67 | 0.33 | 0.35 | -0.69 |
| CD(sd, all) | 0.72 | 0.27 | 0.25 | -0.67 |
| CD(mn, upper) | 0.88 | 0.42 | 0.27 | -0.88 |
| HGT(mn, all) | 0.45 | 0.37 | 0.37 | -0.51 |
| HGT(sd, all) | 0.88 | 0.30 | 0.42 | -0.81 |
| HGT(mn, upper) | 0.86 | 0.35 | 0.43 | -0.85 |
| DNY(all) | -0.62 | 0.49 | 0.51 | -0.69 |
| DNY(upper) | -0.84 | 0.39 | 0.51 | 0.87 |
| BA(all) | 0.73 | 0.53 | 0.52 | -0.69 |
| BA(upper) | 0.73 | 0.47 | 0.53 | -0.71 |
| AGE | 0.87 | 0.55 | 0.63 | -0.90 |
| SCI | 0.88 | 0.55 | 0.65 | -0.86 |
| CHD | 0.75 | 0.53 | 0.54 | -0.69 |

자료 : Warren B. Cohen M. Hoffer, GIS Application Perspective : Current Research on Remote Sensing of Forest Structure, V. Alaric Sample(ed.) Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, 1994, p.97

주 : DBH(흉고직경), CD(성목 직경), HGT(수고), DNY(수림밀도), BA(면적), AGE(수령), SCI(구조적 복합지수), CHD(수관높이 다양성지수), mn(평균), sd(표준편차), all(수림내에 있는 모든 수목), upper(수관의 우점종)

< 표 III-4 >와 같이 수관구조의 파악에 있어서 Tasseled CAP의 습윤지수가 효용성이 있는 것으로 제시되었다. 이를 우리 나라의 상황에 맞도록 보완하여 이용한다면 우리 나라의 수관구조를 파악하는데 이용할 수 있을 것으로 판단되며, 녹지자연도의 개선과 자연환경보전법의 개정에 따라 새로이 작성될 생태·자연도의 한 가지 인자로 활용된다면, 식생부문의 새로운 지표로 사용이 가능할 것으로 판단된다.

3. 육상식생의 1차생산력 추정

Landsat 1호가 1972년에 발사된 이래 육상식생의 생산력 추정은 원격탐사의 중요한 응용 분야가 되었다. 초기에는 밀 등의 농작물 수확량 예측이 관심의 초점이 되었다. 그러나 근래에는 하드웨어의 향상과 이론의 진보 등에 의해 광역순일차생산(NPP)을 계산하는 접근방법이 진행되고 있으며, 이중 자연식생의 일차생산력의 계산에 대한 관심이 높아지고 있다. 지속적으로 관리되는 경작지에서의 작물의 조건에 비교해서, 자연식생에서는 지형, 기후, 군락구조 등의 조건의 차이가 커서 자연식생의 일차생산력의 계산은 매우 어려운 과제이다.

자연식생의 일차 생산력의 추정을 위해 개발된 2가지의 주요한 수법은 개량형초고분해능 방사계(AVHRR)/정규식생지수(NDVI) 이용하는 방법과 위성영상자료 분석결과를 생태계의 모델과 접합하여 사용하는 방법이 있다.

3.1. AVHRR/NDVI를 이용한 육상NPP의 추정

NASA의 타이로스에 탑재된 AVHRR센서의 화소크기(Pixel Size)는 약 1.1km로, 지구규모의 영상전체를 일괄처리하는 계산이 가능하다. 다른 시기 영상의 합성(즉, 1주간의 자료를 읽어 최대 값을 구해 지도화 하는 수속)을 이용하여 구름이 없는 지구규모의 식생도를 작성하는 것이 가능하다. 이와 같은 방법을 이용하여 아프리카, 북아메리카, 전세계의 식생이 지도화 되었다.

초기 지구규모의 연구에서 식생은 정규식생지수(NDVI)로 정의되었다. 그러나, AVHRR센서는 1.1km의 광학적인 분해능을 가지고 있는 것으로, 지구규모의 NDVI자료 처리시 공간적인 자료 압축이 행해지고 있다. 따라서 NDVI자료에 대응하는 지상점의 추출이 불가능하여 지상자료에 의한 검정은 곤란하다.

잎면적지수(LAI : Leaf Area Index)와 광합성유효방사흡수량(APAR)의 NDVI에 대한 상호관계를 도출하기 위해 LAC 인자가 잘 이용되게 되었다. 또한 수관구조를 가지는 식생에서는 APAR은 NDVI에 대해서 선형, LAI에 대해서는 비선형의 관계를 보여주고 있다. Seller가 보인 관계식은 다음과 같다.

$$\text{APAR(방사선유효방사흡수량)} = f(\text{잎면적지수, 입사단파방사, 수관구조}) \quad (\text{식 III-3})$$

$$\text{NDVI} = f\{\text{APAR}\} = f(\text{잎면적지수}) \quad (\text{식 III-4})$$

그러므로 구조와 광산란·광흡수특성이 밝혀진 특정 수관에 대해서는 위의 관계식에 따라 수관의 측정식으로부터 다른 인자로 변환하는 것이 가능하다. 다만, biome이 다른 경우에는 수관구조와 반사특성이 차이가 있으므로, 비록 같은 LAI에서도 NDVI는 다른 값을 보일 가능성이 있다. 한 예로 LAI=3인 산림의 NDVI가 0.5가 되는 경우, 같은 NDVI 값을 가지는 초지의 LAI는 2가 될 수도 있다. 따라서, biome형이 다른 식생의 경우 NDVI로부터 LAI와 APAR로의 변환이 적절하게 이루어지지 않는다면, NDVI를 정확하게 이용하는 것은 가능하

지 않다. 특히 태양천정각, 센서의 입사각, 배경 토양의 노출율과 미보정된 대기의 영향이 NDVI-LAI-APAR의 관계를 변화시킨다.

Monteith(1981)는 연간 작물 NPP를 생육기간중에 흡수된 APAR의 관계와 연결하여 연구하였으며, 이결과 NDVI, APAR 혹은 LAI를 NPP에 연결시키는 것이 가능하다는 것을 밝혔다.

$$NPP = f[\sum APAR] \times \epsilon \quad (\text{식 III-5})$$

ϵ = 에너지 변환효율(g/MJ)

이 일정기간에 계산된 APAR에는 입사태양방사의 강도 및 지속기간에 관한 기상조건과 일면적, 수관의 방사흡수특성에 관한 식생인자(식물광합성생산을 직접적으로 결정하고 있는 변환인)가 특히 관련된다.

$$NPP = \sum NDVI \times \epsilon \quad (\text{식 III-6})$$

최초로 NDVI를 NPP에 연결한 것은 Goward et al.(1987)이었다. 연간 APAR에너지(MJ)를 NPP(kg/m²)로 변환하기 위한 각 biome별 ϵ 계수는 정해져 있었다. 이 방법에서 중요한 점은 NDVI와 LAI에서는 없고, 합산된 APAR과 같은 형태의 주합성(周合成)NDVI의 연간 합산치가 이용되었다는 점이다. 일주일 정도의 합성영상을 일정기간 합산하는 것에 의해 영상 중에 있는 구름이 자동적으로 제거되며, 관계식을 기상조건에 대응하여 안정적으로 이용하는 것이 가능하다. 여러 가지의 관계된 biome이 보여주는 최대NDVI(또는 LAI)는 많은 차이를 보여주고 있지는 않지만 높은 생산력을 보여주는 지역에서는 식생활력이 높은 시간이 길고, NDVI의 합산치가 커지게 된다. 이 NDVI의 주간단위의 합산 방법은 일단위에서는 없어지는 AVHRR자료의 이용을 촉진하는데 중요한 역할을 하였다. 구름을 제거하기 위하여 AVHRR자료의 주간 단위의 영상합성과 같은 7가지의 연속된 Landsat자료를 합성하는 것이 시도되었다. Landsat위성의 주기는 16일로 7장의 연속된 자료를 얻기 위하여 112일의 자료를 이용하여 하나의 영상을 만들었다. 따라서 Landsat 영상은 지표면의 년 1회의 snapshot만을 이용하게 되었다. 또한 30m의 고분해능을 가진 TM자료는 AVHRR에 비해 자료비가 약 10배이며 자료량은 약 1,000배이다. 따라서 대규모의 연구에 여러해에 걸친 자료를 이용하는 것은 곤란하다.

Monteith(1981)의 방법과 Sellers(1985, 1987)의 도출된 관계식에서는 물, 온도, 영양 부족이 없는 상태의 식생만을 대상으로 연구한 점이 한계이다. 관개와 시비에 의해 여름철에 생육하는 일년생작물의 경우에는 이 가정이 증명되고 있다. 그러나, 야생다년생식물은 자주 물 스트레스를 받고, 매년 특정시간에는 온도에 따른 제약도 받는다. 이와 같은 여러 가지 조건이 biome형 일반에 응용이 가능하게 하기 위하여, 생물화학적 요인과 기상학적 요인을 보다

명확하게 구분하는 공식을 만들었다.

$$NPP = t \sum T(\sigma \times NDVI) \times \epsilon \quad (\text{식 III-7})$$

σ = 표면저항계수 Ts/NDVI

$t \sum T$ = 온도에서 NDVI의 시간적분

Ts = AVHRR 열밴드 4와 5로부터 구해진 지표면온도

이 (식 III-7)에 대해서 어느 정도 중요한 개량이 이루어졌다. Nemani and Running(1989b)에서는 미국 몬타나주 침엽수림의 AVHRR자료로부터 Ts/NDVI로 계산된 지표저항계수가 이용되었다.

σ 를 구하는 알고리즘을 실행하기 위해서는 NDVI와 지표면온도가 일정범위내에 있는 연속된 영역이 필요하다.

$t \sum T$ 는 생리적인 활동이 최소가 되는 0°C이하의 NDVI 값을 제외한 NDVI 1시간단위 적산을 타나내고 있다. 일반적으로는 $\sum NDVI$ 는 1년단위로 계산되지만, 다른 channel과 동시에 처리되지 않는 열 channel은 특정시기로 제한하여 계산하는 것도 있다(Goward et al., 1985, 1987). Running and Nemai(1988)는 온도제약형의 $\sum NDVI$ 를 이용하였으며, 온도자료는 보조적인 지상자료D/B의 값을 이용하였다. 온도제약을 이용한 변화효율계수 ϵ 는 생물화학적 요인만을 나타내는 것과 이를 포함하여 고려하는 것이 가능하다.

Moonley et al.(1989)는 광합성능력이 잎의 질소농도에 직접 비례하는 것을 보였다. ϵ 는 부분적으로 엽신의 질소함량 영향을 받고 있지만, 이 양은 고분해능의 영상분광측정에 의해 원격탐사가 가능한 값이다(Wessman et al., 1988). 또한 C3와 C4식물과 같은 생리가 기본적으로 다른 Biome에 대해서는 여러 가지 다른 ϵ 계수를 이용할 필요가 있다. 따라서 AVHRR의 Channel 4(10.5~11.5 μ m)와 Channel 5(11.5~12.5 μ m)로부터 산출된 지표면온도가 이용되고 있다.

Nemani and Running(1989b)에서는 McClain(1980)의 Sprit Window수법을 이용하여 지표면온도를 계산하였다. 이 방법으로 현재 작성되고 있는 지도와 같이 넓게 적용하는 것이 가능하다.

3.2. NPP를 추정하는 생태계 모델

AVHRR/NDVI는 전세계에 걸친 NPP를 모니터링하기 위해 불가피한 수단으로서 급속히

발전된 것으로, 계절적 변화가 적은 침엽수림과 같은 Biome에 대해서는 $\sum NDVI$ 의 동적인 감도는 떨어진다.

3.2.1. 위성에 의한 LAI의 추정

초지, 일년생작물 등의 계절적 Biome형 NPP는 생육기간중의 Biomass관측치의 시간적분에 의해 추정하는 것이 가능하다. 그러나 산림, 저목림 기타의 상록광엽수림 등 영년생식생 Biomass의 연간NPP를 위성으로부터 계산하는 것은 곤란하다. 이것의 상록성 biome에 대해서는 biome을 초월해 비교하는 것이 가능한 CO₂교환에 관한 구조변수가 필요하다. LAI(잎면적지수 : 단위면적당 투영된 잎면적)는 식물기관의 에너지, H₂O, CO₂ 교환에 연관되는 지수로, 종구성을 고려한 LAI를 이용하여 식생을 분류하는 단순한 방법이다.

1970년대에 실시된 국제생물학사업계획(IBP)에 관련된 생태계의 해석을 통해 LAI와 NPP 간에는 biome형이 다름에도 불구하고 강한 상관성이 있다는 것이 판명되었다(Gholz, 1982; Webb et al., 1983). 또한 이용가능수분량과 LAI의 기능적인 균형관계도 보여지고 있다(Grier and Running, 1977). Jarvis and Acnaughton(1986)은 증발산(ET)이 LAI에 직접적으로 비례하는 것을 보였다.

이러한 연구에 의해 자연식생의 LAI를 원격탐사에 의해 측정하는 방법의 개발이 지구생태학연구에 관련된 중요한 주제가 되었다. LAI는 분광반사율과 식생 LAI의 직접측정치와의 상관성을 조사하는 것에 의해 작물과 초지에 대한 시험이 이루어졌다. 특히 보리의 LAI를 추정하기 위해 여러 가지 근적외선과 가시파장의 조합이 이용되었다(Wiegand et al., 1979; Asrar et al., 1984).

Running et al.(1986) 과 Peterson et al.(1987)은 미국 오레곤주에 생육하는 침엽수림의 LAI를 항공기에 탑재된 센서(Thematic Map Simulation Data)를 이용하여 추정하였다. 생육기간 중의 물 수지는 태평양연안의 +20cm(과잉)로부터 내륙사막에 -80cm(부족)까지의 폭을 가지고 있고, 이 폭은 산림 LAI가 보여주는 전세계적인 변동에 대응되었다. 이 연구는 Landsat TM자료를 이용하여 미국 캘리포니아주, 몬타나주, 워싱턴주의 침엽수림에 대한 것으로 확대되어 실시되었다.

Spanner et al.(1989)은 TM의 NIR/RED비와 폐쇄수관의 LAI간에 강한 상관성이 있는 것을 보였다.

지상에서의 직접적 측정조사는 TM의 30m셀 크기가 적절하여, LAI는 우선 TM자료를 이용하여 연구되었다. 전세계적인 연구의 예에는 자료의 크기의 제한성 때문에 NOAA의 분해능 1.1km가 현실적이어서 AVHRR을 이용한 1.1km 크기로 연구가 진행되었다. 수Km범위의 산림을 정확하게 측정가능한 휴대적산방사계의 개발에 의해 AVHRR크기의 LAI추정에 큰 진보가 있었다(Pierce and Running, 1988).

Spanner et al.(1987)은 미국 워싱턴주, 오레곤주와 몬타나주의 침엽수림의 수목 직경, LAI의 관계를 이용한 종래의 방법에 의해 각시험구획의 LAI를 구했다. 그 결과AVHRR의 NDVI는 LAI=6에 근접하는 곡선에 의해 LAI와 R²=0.76의 상관관계를 보이고 있다. Nemani

and Running(1989a)는 LAI가 3부터 10의 몬타나의 52개 1.1km의 수림에 대해 수문학적인 평형관계를 이용하여 보다 이론적인 접근방법에 의해 LAI를 추정하였으며, AVHRR자료와 이 LAI 추정치간에 높은 상관관계($R^2=0.88$)가 있는 것이 확인되었다.

지상 LAI 측정방법에는 많은 문제점이 존재하고 있다. 한가지 예로 수림의 면적과 LAI와의 관계는 수림밀도와 기후변화에 영향받기 쉬우므로 원자료로부터 도출된 값에 대해서 관계식을 구하는 것은 좋지 않다(Hungerford, 1987).

광학적인 측정치로부터의 LAI를 추정하기 위해서는 수관의 소광계수가(Extinction Coefficient)가 알려져 있지만 계산에 의해 구할 필요가 있다. 그러나 수관의 특성도 종과 Biome이 다름에 의해 크게 변화한다(Javis and Leverenz, 1983; Pierce and Running, 1988). 원격탐사에 의한 측정방법에도 같은 많은 잠재적인 문제점이 존재하고 있다. 수관의 쌍방향 반사특성, Background 토양의 노출과 반사율, 대기투과율, 태양방사각, 센서시각의 변화 등의 문제가 있다.

이 연구를 바탕으로 침엽수림과 초지의 LAI를 여러 가지 공간분해능을 가진 인공위성에 의해 측정하는 것이 가능하다는 것이 밝혀졌다. 그러나 현재까지 연구된 산림과 초지의 수관 구조와 쌍방향반사특성이 뚜렷하게 다른 Biome에 대해서는 반복검증이 필요하다.

3.2.2. LAI의 생태계모델로의 통합

지역차원에서 LAI를 추정하는 데에 위성자료를 이용하는 것이 가능하므로, 이 원격탐사에 의한 자료를 이용한 생태계과정의 Model을 개발하는 것에 의해 NPP를 추정하는 것이 가능하다. Forest-BGC모델은 산림생태계에 관한 탄소, 물, 질소의 순환을 계산하는 시뮬레이션 모델로(Running and Coughlan, 1988), 이 모델의 내부에는 2가지의 다른 시간개념을 가지고 있다. 하나는 일단위로 계산되는 수문과 수관의 가스교환과정이고, 다른 하나는 연단위로 계산되는 탄소와 질소의 순환과정이다. Forest-BGC모델은 최대-최소기온, 결로점, 입사단파방사와 강수량 등의 일단위 기상자료를 필요로 한다. 이 모델은 수관의 흡수·증발·증산, 토양 수분함량과 유출량 등의 주요한 수문과정자료를 필요로 한다. 또한, 이 모델내부에서는 광합성, 유지호흡, 성장호흡, 탄소배분, 일차생산 litter 강하, 분해 등의 탄소과정자료 및 퇴적물 흡수 litter 강하, 무기화, 용탈 등의 질소과정을 계산하고 있다. LAI인자는 위성에 의해 측정된 것이 사용 가능하다.

각종의 LAI에 대한 FOREST-BGC의 정확도 검증은 북아메리카의 대표적인 산림에서의 연간수문유지와 순광합성량을 이용하여 평가되었다(Running and Coughlan, 1988). 시험결과, 증발, 증산 과 토양침수에의 물의 분배율은 이 기후범위내에서 확실히 변화하고 있다. LAI의 증감에 대한 반응도 또한 크게 변화하고 있다. 잭슨빌에서는 LAI가 3부터 9까지 증대함에 따라 토양침수가 적게되며, 증산이 급격히 증대하고 있다. 그러나 웨이백스 지역에서는 LAI가 증가하는 것에 따라 증산은 그다지 증가하고 있지 않다(Running and Coughlan, 1988). 같은 결과는 연간순광합성에 대해서도 보여지고 있다. 즉 온도와 강수량이 풍부한 잭슨빌에서는 LAI가 3에서 9까지 증가하면 이에 비례하여 광합성량도 증가하지만, 생육기간이 짧은 강수량이 337mm인 몬타나주의 미즈라에 대해서는 LAI의 증가해도 광합성량의 증대는 보여지지 않

는다. 이와 같은 연구결과 이 식물과정의 시물레이션은 종래의 생태학적인 계획에 의해 검증하는 것이 가능하다는 것이다.

3.3. $\sum NDVI$ 와 FOREST-BGC의 비교

Goward et al.(1985)은 문헌으로부터 NPP추정치를 이용하여 북아메리카의 여러 가지 biome에 대한 $\sum NDVI$ 를 NPP와 관련시켜 연구를 수행하였다. NPP 추정치를 이용하여

$\sum NDVI$ 를 검증하는 시험으로서 7개의 시험사이트에 대응하는 가상적인 산림의 연간 NPP를 시물레이션하고, 그 결과와 NOAA의 1983-1984년의 전세계 식생지수와의 상관을 조사하였다(Running and Nemani, 1988). 7개의 시험사이트의 NDVI와 연간광합성량과의 상관은 $R^2=0.87$ 이고, 연간증산량과의 상관은 $R^2=0.77$ 이며, 순일차생산과는 $R^2=0.72$ 이다. 이 결과,

$\sum NDVI$ 이용하여 생태계 대사속도의 차이를 파악하는 것이 가능하다. NPP의 FOREST-BGC에 의한 추정을 확대하기 위해서는 LAI, 토양수분유지력, 기상조건 등의 제약 변수가 대상지역의 각 화소에 대해서 정해져 있는 등의 추가계산이 필요하다. 미국 몬타나주의 28×55km지역에 대하여 지리자료를 종합적으로 이용하여 시물레이션하였다. 각종 자료로부터 얻어진 정보와 산악미기상시물레이션(MT-CLIM, Running et al., 1987)을 이용하여 점적으로 측정된 기상정보를 복잡한 지형에 관련된 값으로 수정하였다. 이와 같은 과정을 거쳐 얻어진 기상자료와 AVHRR로부터 얻어진 LAI추정값 등을 포함한 기타자료를 통합하여 최종적으로 대상지역의 각 1km화소에 관해 1,200회이상 FOREST-BGC가 실행되었다(Running et al., 1989). 연구지역 내에 관련된 각 추정식의 범위는 LAI가 4-15이고, 증발산이 25-60cm/yr이며, NPP는 5.7-14.2t/ha/yr이다. 다음으로 이 지역에 관계된 $\sum NDVI$ 로부터 NPP를 추정하는 것을 시험하고, FOREST-BGC에 의해 작성된 NPP와 비교하였다. 그러나 전 지구상의 1km 화소에 대응하여 같은 방법으로 자료집약형 계산을 행하는 것은 불가능하다. 일례로, 지구대순환모델은 최근에 정밀한 경우에도 0.5도 그리드(약 50km×50km)단위에서 지구표면을 모델화한 것이다.

$\sum NDVI$ 에 의한 NPP의 추정은 계산가능하다는 것에 중요성이 있으며 FOREST-BGC 시물레이션을 이용하는 이점은 직접적 연구가 곤란한 가설적인 상황에 대해서 조사하는 것이 가능하다는 데 있다. 즉 우리는 대기중 CO₂ 농도가 2배로 되는 경우 예측된 기후변동에 대한 몬타나주의 산림지대의 잠재적인 반응을 시물레이션에 의해 조사하는 것이 가능하다.

4. 식생도를 이용한 얼룩 올빼미 서식지 연구

4.1. 개요

자연생태계의 관리에는 대규모 면적에 대한 정밀한 해상도를 요구하는 조사자료 및 모니터링자료가 요구된다. 모델링 기법은 토지이용변화, 자연훼손, 자원채취, 종 역학 등의 공간-시간적 작용을 조사하는 연구 및 관리도구로 그 사용이 늘고 있다. 현존 또는 앞으로 실용화될 인공위성 센서의 기능, 자료의 보관 및 처리, 축척, 정확도 등의 이슈와 연관된 지리데이터베이스에서의 공간적, 시간적, 분류 방법론적 해상도에 관한 연구는 지금까지 많이 이루어져 왔다. 현재 MODIS 토지피복자료⁷⁾, 대기대순환모형에서 사용되는 지구식생 데이터베이스⁸⁾, Landsat Pathfinder자료⁹⁾¹⁰⁾, GAP Analysis 생물다양성 자료¹¹⁾ 등 다수의 범지구적 및 범지구적 범위의 토지피복, 식생, 생물다양성 데이터베이스는 개발되었고 또 계획되어지고 있다. 그러나 현존하는 자료들은 자연생태계 관리의 용도에서는 그 공간적 정밀도 및 분류속성이 충분하지 않다. 본 연구에서는 화소 당 2헥타르의 세밀한 공간적 해상력을 가진 2백만 헥타르의 광역적인 면적을 포함하는 식생데이터베이스를 다루고 있다. 이 식생데이터베이스는 식물분류학적 상세분류가 아닌 산림의 수관밀폐도와 수관구조에 대한 속성을 담고 있다. 데이터베이스의 지도화 작업은 Landsat 인공위성영상자료와 기타 변수자료를 담고 있는 GIS를 이용하였다. 이러한 데이터베이스를 제작하는데는 막대한 자본이 요구되므로, 본 연구에서는 광역적인 면적의 자연생태계관리에 요구되는 최소한의 공간해상도와 분류체계를 고려하여 수행하였다. 자연생태계는 공간적-시간적인 범위가 광역적이므로 그 관리를 위해서는 모델링이 필수적이다¹²⁾¹³⁾¹⁴⁾. 본 연구에서는 현재 진행중인 California 얼룩올빼미 프로젝트의 서식지 적합성 모형과 데이터베이스를 이용하여 사례연구를 실시하였다.

4.2. 원격탐사와 GIS기법을 이용한 林分(stand)기반 식생지도화기법의 유형과 구조

본 연구는 Landsat TM영상을 진보된 화상처리 알고리즘(분할, 수관모형, 혼합모형)들을

-
- 7) Running, S.W. 외 13인(1994), Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. *International Journal of Remote Sensing* 15: 3587-3620.
 - 8) Henderson-Sellers, A.(1994), Global terrestrial vegetation 'prediction': the use and abuse of climate and application models. *Progress in Physical Geography* 18: 209-246.
 - 9) Maiden, M.(1994), The Pathfinder project. *International Journal of Remote Sensing* 15: 3333-3345.
 - 10) James, M., and Kalluri, S.N.V.(1994), The Pathfinder AVHRR data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *International Journal of Remote Sensing* 15: 3347-3363.
 - 11) Scott, J.M. 외 11인(1993), Gap analysis: a geographical approach to protection of biological diversity. *Wildlife Monographs* 123:1-41.
 - 12) Sample, V. A., Ed.(1994), *Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management*. Washington, DC: Island Press.
 - 13) Franklin, J. F.(1993), Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes?, *Ecological Applications* 3: 202-205.
 - 14) Franklin, J. F.(1995), Why Link Species Conservation, Environmental Protection, and Resource Management?, in *Linking Species and Ecosystems*, Jones, C. G. and Lawton, J. H., Eds., New York: Chapman & Hall. pp. 326-335.

통합하여 적용하였으며, 광역적인 면적의 정밀한 식생도를 제작하기 위해서 GIS를 이용한 간단한 지도제작모형을 사용하였다. 자세한 방법은 Woodcock¹⁵⁾의 논문에서 설명하고 있다. 본 연구의 결과물은 수치식생도 형태로 완성되며 다음의 속성을 가진다.

- 이미지 세그멘테이션을 통하여 인공위성 다중분광(Multi-Spectral) 영상자료로부터 자동적으로 설정되는 식생임분의 크기와 상응하는 최소표현면적(minimum mapping unit)
- 다중분광 영상자료의 분류를 통하여 각 임분마다 침엽수, 활엽수, 잡목림, 초본 등과 같이 부여되는 식생의 생물형태 레이블(life form label)
- 현장에서 수집한 자료와 수치표고모형(DEM)으로부터 추출한 지형변수를 이용한 simple gradient모형을 이용하여 각 생물형태에 붙여지는 식생유형 레이블
- TM영상에 적용된 산림수관반사모형의 결과로부터 도출된 주 산림유형의 수관면적 산정
- 광학혼합모형을 통한 2차 산림유형 면적산정
- 수관모형 또는 항공사진 판독을 통한 각 산림의 임분 수관구조(수관크기 클래스) 산정

위에서 언급한 속성자료들은 항공사진 영상분석가에 의하여 수정되며, 보통 각 속성 당 5-20%의 자료 레이블링이 수정된다.

지도제작방법에서 각 속성은 고해상도의 래스터 자료(30미터 TM영상자료와 수치표고모형(DEM)자료)로부터 얻어진다. 그러나 근본적인 지도화단위는 인접화소로 구성된 “임목(stnad)” 단위이며, 이는 영상 세그멘테이션 작업을 통하여 미리 설정된 최소크기 이상의 클러스터를 자동적으로 추출한다.¹⁶⁾ White와 Running¹⁷⁾은 인공위성영상자료와 지형자료의 모든 처리과정에서 오차가 발생하고, “이러한 오차가 무작위로 발생한다고 가정할 때, 유사한 환경적 특성을 가진 지역을 통합하여 오차의 폭을 줄일 수 있다”라고 밝히고 있다.

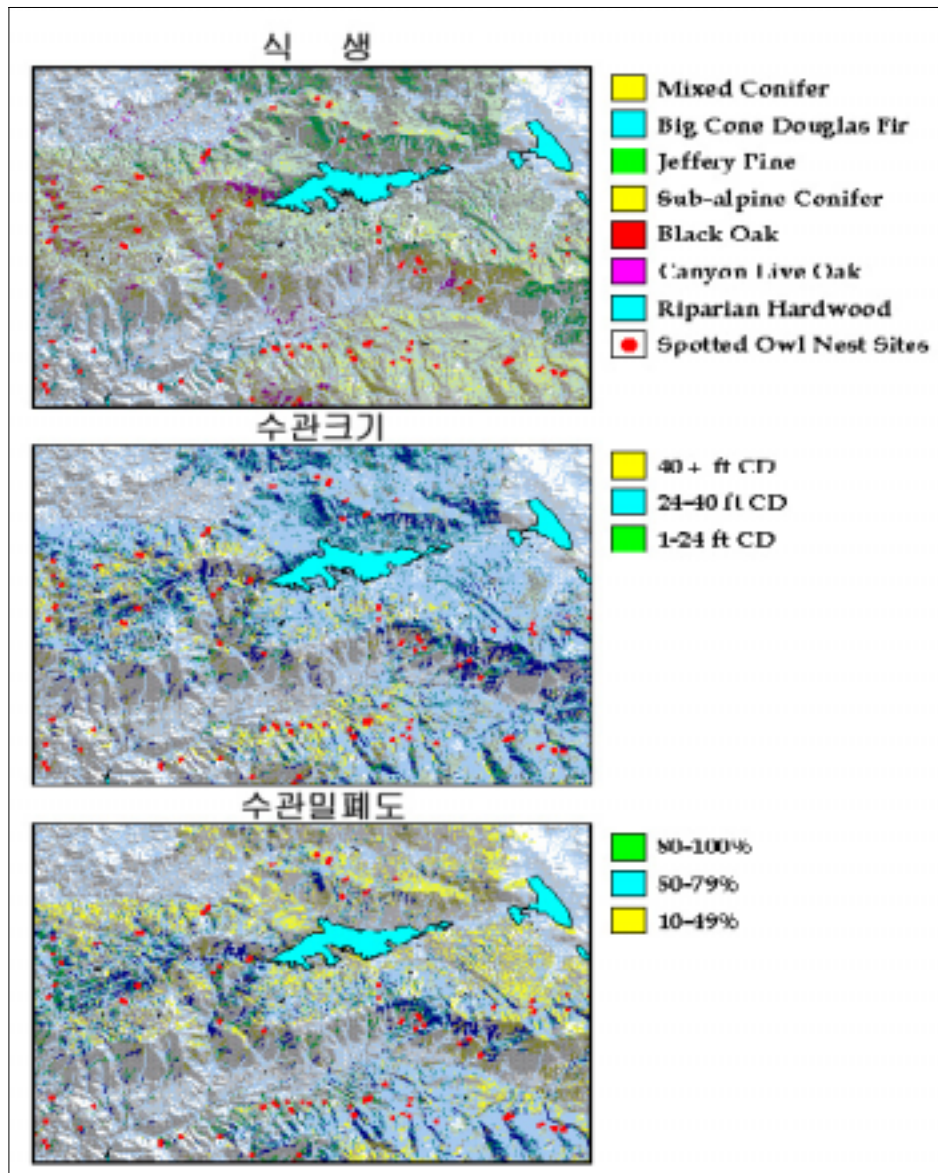
4.3. 공간적 개체군 모형

공간적 개체군 모형(spatially explicit population models-SEPM)이란 서식지의 패턴이 개체군 역학(dynamics)과 생존도(viability)에 미치는 영향을 시뮬레이션하는 모형이다(Dunning et al. 1995). SEPM은 서식지(크기, 구조, 식생유형 등)의 공간적·시간적 변화와 서식지 패턴간의 분포형태와 생물이동통로(corridor)의 구조에 영향을 받는다. 그러므로 SEPM은 지형 및 지세정보와 서식지별 개체군 매개변수의 시간적 변화 내용을 담은 수치지도를 이용하여 서식지에의 영향을 산정하는 모형이다.

15) Woodcock, C. D., Collins, J., Gopal, S., Jakabhazy, V. D., Li, X., Macomber, S., Ryherd, S., Harward, V. J., Levitan, J., Wu, Y., and Warbington, R.(1994a), Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. Remote Sensing of Environment 50: 240-254.

16) Woodcock, C. E. and Harward, V. J.(1992), Nested-hierarchical scene models an image segmentation. International Journal of Remote Sensing 13: 3167-3187.

17) White, J. D. and Running, S. W.(1994), Testing scale dependent assumptions in regional ecosystem simulations. Journal of Vegetation Science 5:687-702.



< 그림 III-14 > 대상지역의 식생, 수관크기, 수관밀폐도, 얼룩올빼미의 등지를 표시한 지도
 자료 : Janet Franklin and John Stephenson, Integrating GIS and remote sensing to produce regional vegetation databases: attributes related to environmental modeling, http://ncgia.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/franklin_janet/my_paper.html

본 사례연구에서는 Thomast *et al.*¹⁸⁾과 Verner *et al.*¹⁹⁾의 얼룩올빼미서식지 모형 연구사

18) Thomas, J.W., Forsman, E.D., Lint, J.B., Meslow, E.C., Noon, B.R., and Verner, J.(1990), A conservation strategy for the Northern spotted owl. Interagency Scientific Committee to Address the Conservation of the Northern spotted owl (USDA: Forest Service, USDI: Bureau of Land Management, Fish and Wildlife Service, and National Park Service). 1990-791-171/20026. United States Government Printing Office, Washington, D.C. USA.

19) Verner, J., McKelvey, K.S., Noon, B.R., Gutierrez, R.J., Gould, G.I., Beck, T.W., Technical Coordinators.(1992), The California spotted owl: a technical assessment of its current status. General Technical Report PSW-GTR-133. Pacific Southwest Research Station, Forest Service. U.S.

레가 잘 보여주고 있듯이, 서식지 적합성에 영향을 미치는 식생인자를 식생유형(산림구성), 수관밀폐도, 산림구조(수목의 크기별 분포)로 설정하였다. Schultz and Joyce²⁰⁾의 연구에 의하면 서식지 속성의 화소크기는 대상 중 평균영역크기의 1%미만이라고 설정하고 있다. 본 연구의 식생 폴리곤 크기는 최소 2헥타르, 평균 15헥타르이므로, 얼룩올빼미의 평균영역이 대략 200-1,000헥타르임을 볼 때 서식지 모형의 사용에 충분히 적합하다²¹⁾. < 그림 III-14 >는 대상지역인 San Bernardino산맥의 완성된 식생도로 얼룩올빼미 등지의 위치, 식생, 수관밀폐도, 수관크기를 보여주고 있다.

4.4. 얼룩올빼미 서식지의 SEPM모형

본 연구의 SEPM 모형은 대상지역을 균등한 6각형 셀로 분할하였다. 6각형 셀은 대략적인 얼룩올빼미 한 쌍의 평균영역이다. 이 모형은 6각형 셀의 서식지 적합성을 사용자가 지정한 기준에 따라 평가·점수를 매겨 우수한 서식지를 구분한다. 앞에서 설명하였듯이, 본 모형의 3가지 식생인자는 식생유형, 수관크기, 수관밀폐도이다.

얼룩올빼미의 등지위치와 수관크기, 수관급과의 관계는 현장탐사자료를 통하여 추정하였을 때만큼 그 연관관계가 크지 않았다. 현장탐사자료에 의하면 대부분의 등지가 수관밀폐도가 80-100%인 지역에서 발견되었고, 수관직경 24-40ft 이상의 지역에서 발견되었다. 수관밀폐도가 50-79% 이하의 지역에서는 얼룩올빼미의 등지가 발견되지 않았다.

본 연구의 SEPM 모형에서는, 연구대상지역내의 얼룩올빼미등지의 48%(총 305개 중 147개)가 수관밀폐도 80-100%, 수관직경 24-40ft 이상의 지역에서 발견되었고, 등지의 82%(총 305개 중 250개)가 수관밀폐도 50-79%이상의 지역에서 발견되었다. 또한 약 10%(305개 중 31개)의 등지가 덤불지대와 같이 얼룩올빼미가 일반적으로 등지를 틀지 않는 지역에서 발견되었다.

이러한 오차에 대한 추정 가능한 원인은 다음과 같다. 기대되는 분류 정확도는 82%로써 단순하게 임분이 잘못 분류되었을 수 있다. 그리고 각 속성(식생유형, 수관크기, 수관밀폐도)의 분류정확도는 서로 다르기 때문에 오차가 발생할 수 있다. 더욱이 현장조사자료와 모형자료는 그 축척이 서로 다르기 때문에 오차는 발생할 수 있다. 현장조사에서는 1/10에이커 플랏을 사용하였지만 모형에서의 최소지도화단위는 약 5에이커이기 때문이다.

이러한 축척의 차이로부터 발생하는 오차를 극복하기 위하여 얼룩올빼미의 등지가 발견된 345헥타르 육각형 셀 내의 각 식생 클래스의 면적을 정량화하였다(표 III-5 참조). 이러한 방법으로 어떠한 식생속성이 얼룩올빼미의 등지에 적합한지를 추정할 수 있었다. 이러한 방법의 분석론에는 수관크기 항목을 포함하지 않고 식생유형과 수관밀폐도에 그 초점을 설정하였다.

Department of Agriculture.

20) Schultz, T.T. and Joyce, L.A.(1992), A spatial application of a marten habitat model. Wildlife Society Bulletin 20:74-83.

21) LaHaye, W.S., Gutierrez, R.J., and Call, D.R.(1992), Demography of an insular population of spotted owls (*Strix occidentalis occidentalis*). In: McCullough, D., Barrett, R.H., eds. Wildlife 2001: Populations. New York: Elsevier Press; pp.803-814.

각 서식지 클래스에 부여할 수 있는 스코어의 범위는 0-99이다. 수관밀폐도 50-100%의 Bigcone Douglas fir수림(저지대에서 얼룩올빼미 서식지에서 가장 중요한 산림유형)은 최고 스코어인 99를 부여하였다. 다른 식생유형과 수관밀폐도는 얼룩올빼미 서식지로서의 중요성, 영역내의 상대적 풍부도, 군집하는 식생유형과 비례하여 스코어를 부여하였다. 얼룩올빼미의 서식지를 구분하는 임계스코어(threshold score)는 여러 번의 시행착오를 거친 결과 27이라는 임계스코어를 얻었다.

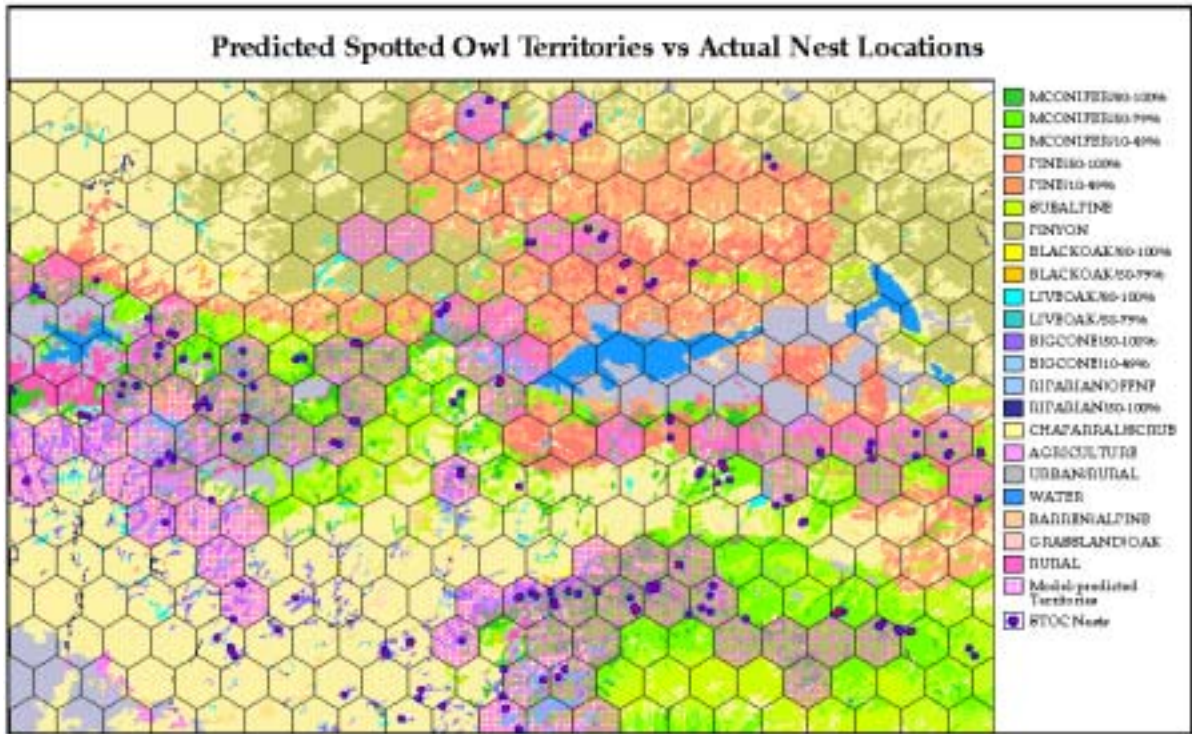
고지대의 가장 중요한 산림유형인 수관밀폐도 80-100%인 혼합 침엽수림은 올빼미 서식지 내에서 발견된 평균수량을 bigcone Douglas-fir영역에서의 평균수량과 대비하여 스코어가 매겨진다. 평균적으로 이러한 침엽수는 bigcone Douglas-fir수림보다 56% 더 풍부하므로 그 스코어 또한 99의 56%인 55가 된다(< 표 III-5 > 참조). 수관밀폐도가 낮은 산림유형 클래스는 얼룩올빼미 서식지로서의 가치가 낮으므로 상당히 낮은 스코어가 부여되었다. 그러나 Jeffrey 소나무림 내의 혼합 침엽수 서식지의 경우는 예외이다. 분석결과를 보면, 건조한 산지(rainshadow)의 올빼미 영역은 수관밀폐도 50-79%의 혼합침엽수 서식지 패치와 밀접하게 연관되므로 이 서식지 클래스에 높은 가중치를 부여하였다.

< 표 III-5 > 6각형 셀 내의 서식지 면적과 적합성 스코어

| Territory Type Vegetation Classes (by Forest Type and % Canopy Cover) | % Range of this Habitat in 345 ha Cell | Avg % of this Habitat in 345 ha Cell | Assigned Score |
|---|--|--|-------------------|
| Mixed Conifer Territories | | | |
| Mixed Conifer, 80-100% | 2 - 51% | 24% | 55 |
| Mixed Conifer, 50-79% | 1 - 88% | 37% | 25 |
| Mixed Conifer, 10-49% | 0 - 70% | 13% | 10 |
| Mixed Conifer/Jeffrey Pine Territories | | | |
| Mixed Conifer within Pine Forest, 80-100% | 0 - 24% | 5% | 50 |
| Mixed Conifer within Pine Forest, 50-79% | 5 - 60% | 23% | 50 |
| Mixed Conifer within Pine Forest, 10-49% | 0 - 37% | 11% | 10 |
| Jeffrey Pine, 50-100% | 1 - 52% | 19% | 25 |
| Jeffrey Pine, 10-49% | 6 - 65% | 23% | 15 |
| Bigcone Douglas Fir/Canyon Live Oak Territories | | | |
| Bigcone Douglas Fir, 50-100% | 2 - 35% | 14% | 99 |
| Bigcone Douglas Fir, 10-49% | 0 - 8% | 2% | 45 |
| Live Oak, 80-100% | 1 - 12% | 6% | 80 |
| Chaparral | 41 - 97% | 73% | 8 |

자료 : Janet Franklin and John Stephenson, Integrating GIS and remote sensing to produce regional vegetation databases: attributes related to environmental modeling http://ncgia.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/franklin_janet/my_paper.html

< 그림 III-15 >는 올빼미 등지위치와 상응하는 예상되는 행동영역을 시각적으로 보여주고 있으며, 식생유형과 지리적 위치를 수치적으로 비교하고 있다.



< 그림 III-15 > 예상되는 올빼미 활동영역과 실제 올빼미 등지의 위치

자료 : Janet Franklin and John Stephenson, Integrating GIS and remote sensing to produce regional vegetation databases: attributes related to environmental modeling, http://ncgia.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/franklin_janet/my_paper.html

본 연구의 시뮬레이션 모형은 < 표 III-6 >과 같이 현존하는 135개소의 올빼미 등지 중 131개소를 성공적으로 예측하였으나, 위치정확성은 65%로 상당한 오차를 포함하고 있다. 세부적으로 볼 때, 식생유형에 따른 위치정확도는 최저 0%에서 최고 93%까지로 정확도의 오차가 크며, 지리적인 유형에 따른 차이는 최저43%에서 최고 87%로 식생유형에 따른 위치정확도와 비교에서 비교적 예측의 정확도가 높으나, 절대적인 정확도는 부족하다고 할 수 있다. 그러나, 식생유형과 지리적인 위치를 이용하여 올빼미 서식영역의 수를 예측하는데는 효용을 가지고 있으므로, 완벽한 시뮬레이션 모형은 아니라도 개체군의 크기와 분포는 현실성있게 시뮬레이션되었다고 할 수 있다. 이의 예측정확도를 높이기 위해서는 각각의 기준이 되는 인자들을 좀더 조정하는 단계를 거쳐야 할 것이다.

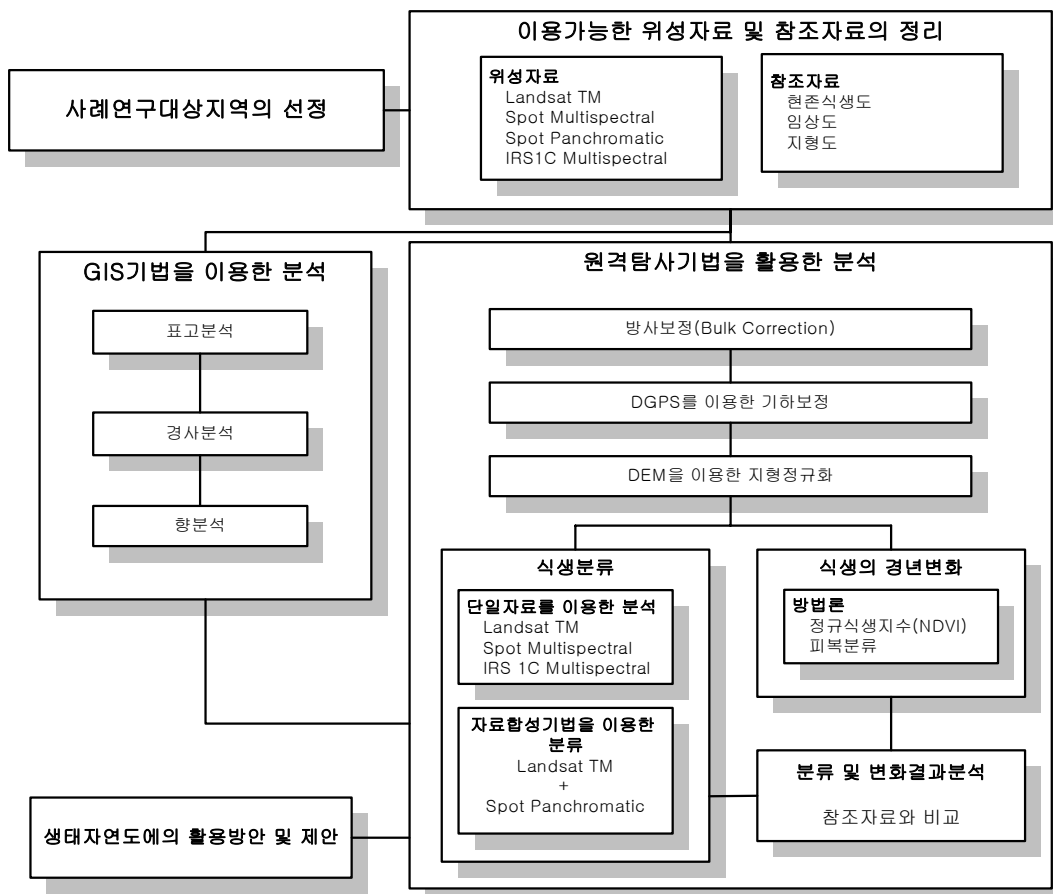
< 표 III-6 > 올빼미의 행동영역과 등지의 위치 비교

| | Total Numbers | | Locational Accuracy of Model-Predicted Territories | | | |
|--------------------------------------|-----------------------------|--------------------------|--|------------------------------------|--|----------------------|
| | Model-Predicted Territories | Actual Known Territories | Location Correctly Predicted | Location Not Predicted (Omissions) | Location Predicted, but isn't occupied | %Correctly Predicted |
| Total Study Area: | 131 | 135 | 88 | 47 | 43 | 65% |
| By Vegetation Type: | | | | | | |
| Mixed Conifer | 43 | 47 | 32 | 15 | 11 | 68% |
| BigconeDF/ Canyon Live Oak | 26 | 29 | 15 | 14 | 11 | 52% |
| Mixed Conifer/ BigconeDF/Live Oak | 41 | 30 | 28 | 2 | 13 | 93% |
| Mixed Conifer/ Jeffrey Pine | 17 | 20 | 11 | 9 | 6 | 55% |
| Live Oak/Pinyon/ Jeffrey Pine | 4 | 6 | 2 | 4 | 2 | 33% |
| Jeffrey Pine | 0 | 3 | 0 | 3 | 0 | 0% |
| By Geographic Region: | | | | | | |
| Northeast | 6 | 9 | 4 | 5 | 2 | 44% |
| Big Bear V→Onyx Pk | 16 | 19 | 11 | 8 | 5 | 58% |
| AngTaks→HazelRer | 21 | 22 | 15 | 7 | 6 | 68% |
| South San Geronimo | 34 | 24 | 19 | 5 | 15 | 79% |
| Lower Front Country | 19 | 23 | 10 | 13 | 9 | 43% |
| Arrowhead L. Region | 19 | 23 | 16 | 7 | 3 | 70% |
| Silverwood L. Region | 16 | 15 | 13 | 2 | 3 | 87% |

자료 : Janet Franklin and John Stephenson, Integrating GIS and remote sensing to produce regional vegetation databases: attributes related to environmental modeling, http://ncgia.ncgia.ucsb.edu/conf/SANTA_FE_CD-ROM/sf_papers/franklin_janet/my_paper.html

IV. 사례연구

사례연구는 한반도의 중앙에 위치한 지역을 선정하여 원격탐사기법과 GIS기법을 이용하여 분석을 행하였다. 일차적으로 생태자연도 작성 시 참조자료로 이용가능한 표고 및 경사, 향분석을 실시하여 대상지역에 대한 일반적인 사항을 파악하는 방법에 대하여 서술하였다. 식생분류도의 작성 및 활용방안을 보다 깊이 있게 연구하기 위하여 대상지역 전반에 대한 일반적인 식생분류결과와의 비교분석을 행하였으며, 이를 더욱 세부적으로 연구하기 위하여 1:25,000 축척의 한 도엽을 선정하여 연구를 진행하였다. 본 사례연구의 흐름은 아래 < 그림 IV-1 >과 같다.

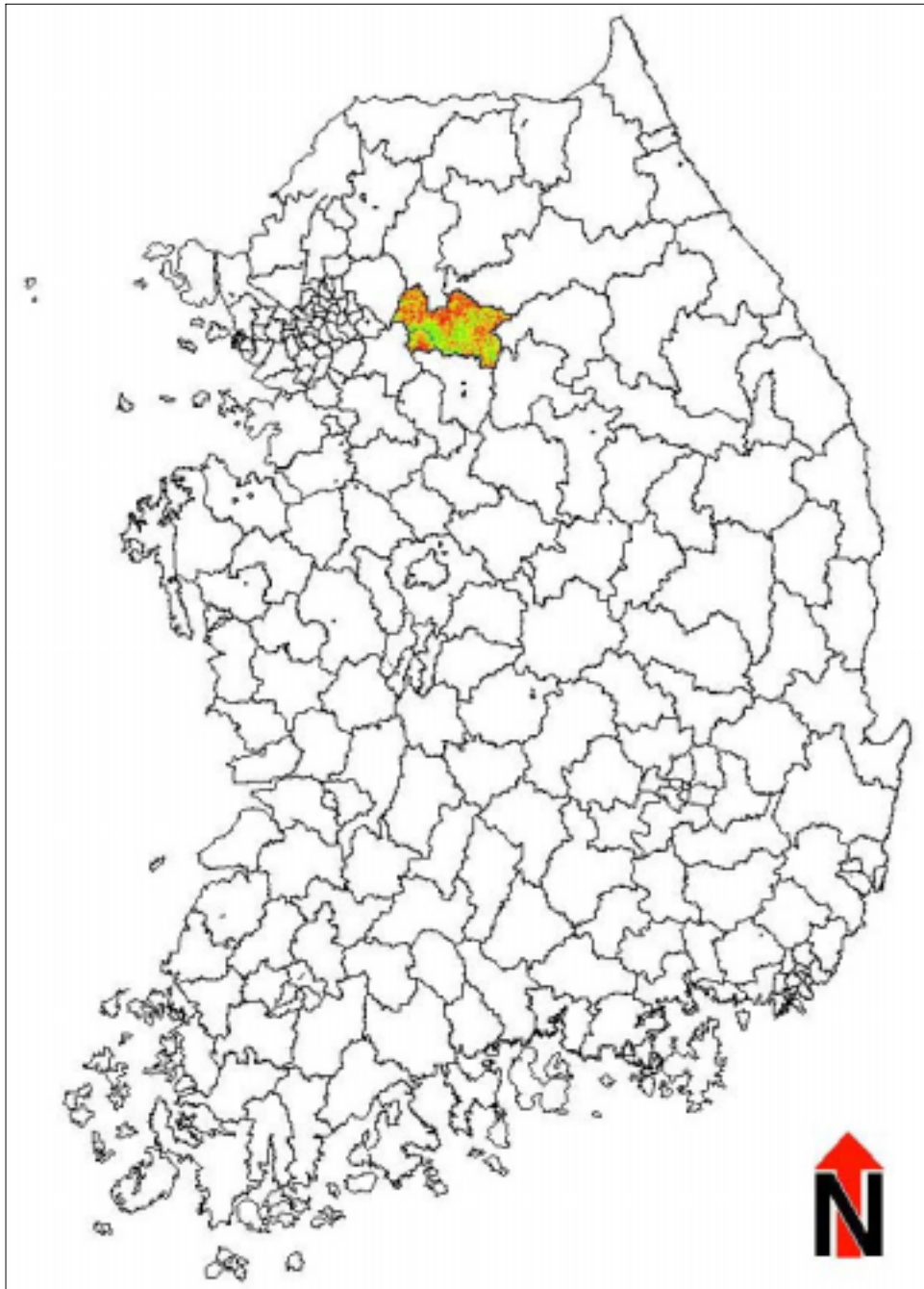


< 그림 IV-1 > 사례연구의 흐름

1. 사례연구 대상지역의 선정

사례연구를 수행하기 위하여 < 그림 IV-2 >에 위치한 양평군을 사례연구 대상지역으로 선정하였으며, 선정이유는 다음과 같다.

첫째, 현재 이용가능한 위성자료와 각종 수치자료의 유무를 고려하였다. 이때 Landsat TM자료의 경우 1980년대 중반부터 1999년까지의 자료를 다양하게 보유하고 있으며, Spot



Multispectral 자료, Panchromatic 자료와 IRS 1C 자료를 보유하고 있어 가장 다양한 자료를 보유한 지역이다.

둘째, 양평군은 상수원보호구역으로 지정되어 있어 비교적 산림의 보존 상태가 양호하며, 사람들의 출입 및 간섭이 적은 지역이 많아 양호한 산림 상태를 보유하고 있다.

셋째, 서울에서 비교적 근거리로 위치하고 있어 현장방문이 용이하여 좀더 자세한 현장자료의 조사가 가능하다.

< 그림 IV-2 > 사례연구대상지역의 위치

2. 사례연구 대상지역의 현황

2.1. 지형·지세 현황

양평군은 북쪽한 위치한 용문산이 1157.2m로 가장 높으며, 약71%의 지역이 300m이하의 완만한 구릉지대를 이루고 있다(< 그림 IV-3 >, < 표 IV-1 > 참조).

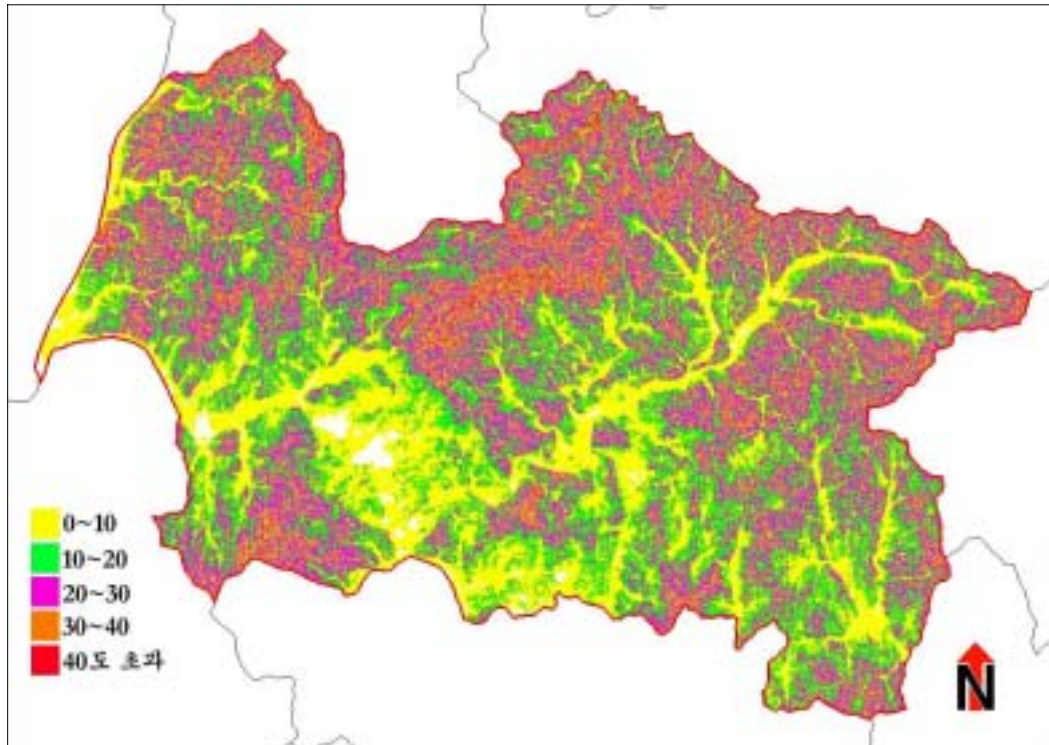


< 그림 IV-3 > 사례연구 대상지역의 DEM결과물

< 표 IV-1 > 양평군의 표고분석

| 표고(m) | 비율 | 누적비율 |
|--------------|-------|--------|
| 0 ~ 100 | 19.24 | 19.24 |
| 100 ~ 200 | 27.69 | 46.92 |
| 200 ~ 300 | 24.47 | 71.39 |
| 300 ~ 400 | 14.88 | 86.27 |
| 400 ~ 500 | 6.92 | 93.19 |
| 500 ~ 600 | 3.09 | 96.28 |
| 600 ~ 700 | 1.84 | 98.12 |
| 700 ~ 800 | 1.03 | 99.15 |
| 800 ~ 900 | 0.50 | 99.65 |
| 900 ~ 1000 | 0.24 | 99.89 |
| 1,000 ~ 1100 | 0.09 | 99.98 |
| 1,100 ~ | 0.02 | 100.00 |

경사도 분석결과 10도 미만의 평지지역의 전체면적의 25%를 차지하고, 대부분 강변에 위치하고 있으며, 시가화 지역 및 농경지로 주로 이용되고 있다. 경사도 30도를 초과하는 대부분의 지역은 용문산이 위치하고 있는 지역으로 산림의 상태가 매우 양호하다(< 그림 IV-4 > 및 < 표 IV-2 > 참조).

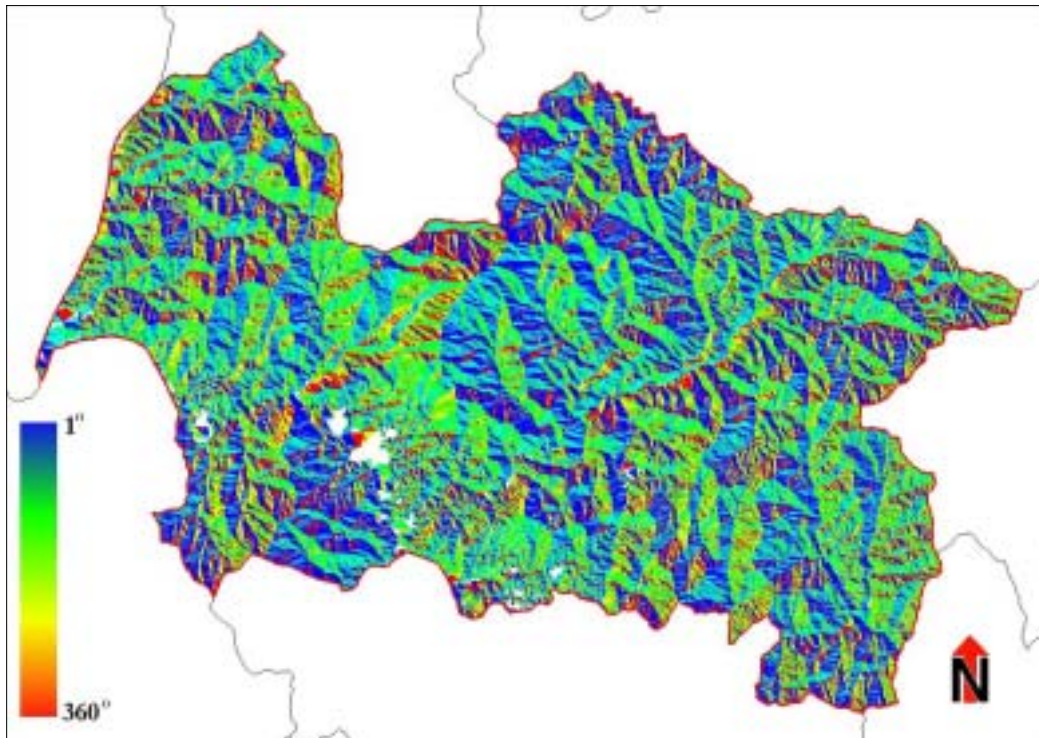


< 그림 IV-4 > 경사분석도

< 표 IV-2 > 경사분석결과

| 경사도(도) | 비율 | 누적비율 |
|---------|-------|--------|
| 0 ~ 10 | 25.14 | 25.14 |
| 10 ~ 20 | 31.16 | 56.30 |
| 20 ~ 30 | 30.20 | 86.50 |
| 30 ~ 40 | 12.15 | 98.65 |
| 40 ~ | 1.35 | 100.00 |

양평균의 향분석결과 완만한 구릉지대인 이유로 대부분의 향이 고르게 분포되어 있는 것으로 파악되었다. 이 결과물은 < 그림 IV-5 >, < 표 IV-3 >과 같다.



< 그림 IV-5 > 향분석도

< 표 IV-3 > 향 분석결과

| 향(도) | 비율 | 누적비율 |
|-----------|-------|--------|
| 0 ~ 45 | 11.16 | 11.16 |
| 45 ~ 90 | 11.65 | 22.81 |
| 90 ~ 135 | 12.79 | 35.60 |
| 135 ~ 180 | 12.84 | 48.44 |
| 180 ~ 225 | 11.87 | 60.31 |
| 225 ~ 270 | 13.89 | 74.20 |
| 270 ~ 315 | 13.85 | 88.05 |
| 315 ~ 360 | 11.95 | 100.00 |

2.2. 산림 및 공원녹지현황

양평군은 1991년 임야면적 652.79km²에서 1997년에 648.54km²로 4.25km²(1991년 임야면적 기준 0.65% 감소)가 감소되었다. 이중 무임목지가 6.95km² 증가하였고, 임목지는 11.20km²가 감소되어 개발면적으로 변환되었다.

< 표 IV-4 >와 같이 1997년 현재 도시내 산림면적율은 72.03%로서 산림이 도시면적의 절반을 넘는 양호한 수준을 보이고 있다. 여기서 한가지 이상한 점은 1991년에서 1992년으로 시간이 지남에 따라 침엽수림과 혼효림의 약25%가 활엽수림으로 변화된 것으로 이는 1991년 이전의 자료에 오류가 있었던 것으로 판단된다.

< 표 IV-4 > 양평군 산림변화율 ('91-'97년)

| 구분 년도 | 임야 면적 (km ²) | 임 목 지 | | | | 무 임 목 지 | | | |
|----------|--------------------------------|--------|--------|--------|--------|---------|------|------|-------|
| | | 소계 | 침엽수 | 활엽수 | 혼효림 | 소계 | 미임지 | 황폐지 | 기타 |
| 1991 | 652.79 | 643.80 | 434.81 | 96.48 | 112.51 | 8.99 | 6.18 | - | 2.81 |
| 1992 | 662.43 | 650.21 | 340.14 | 229.74 | 80.33 | 12.22 | 5.39 | - | 6.83 |
| 1993 | 652.16 | 639.56 | 329.56 | 230.01 | 79.96 | 12.60 | 5.12 | - | 7.48 |
| 1994 | 651.80 | 637.91 | 329.92 | 228.95 | 79.04 | 13.89 | 5.71 | 0.02 | 8.16 |
| 1995 | 651.15 | 636.48 | 329.67 | 228.37 | 78.44 | 14.67 | 5.86 | 0.01 | 8.80 |
| 1996 | 649.71 | 634.53 | 330.53 | 226.40 | 77.60 | 15.18 | 5.97 | - | 9.21 |
| 1997 | 648.54 | 632.60 | 323.77 | 231.39 | 77.44 | 15.94 | 6.22 | - | 9.72 |
| | 군면적 | | 878.21 | 임야면적 | | 632.60 | 면적율 | | 72.03 |

자료 : 경기도 통계연보 1992-1998년에서 분석

< 표 IV-5 > 양평군 공원현황(1997년 기준)

| 구 분 | 도시계획 구역면적 (km ²) | 도시계획 구역인구 (인) | 1인당 공원 면적 (m ²) | 공원 면적 율 (%) | 공 원 현 황(천m ²) | | | | | | | | | | | |
|-----|------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|----------------------|---------------------------|--------|----------------|--------|----------|--------|-----------|--------|----------|--------|----------|--------|
| | | | | | 합 계 | | 도시 자연 공원 | | 근린 공원 | | 어린이 공원 | | 묘지 공원 | | 체육 공원 | |
| | | | | | 개 소 | 면 적 | 개 소 | 면 적 | 개 소 | 면 적 | 개 소 | 면 적 | 개 소 | 면 적 | 개 소 | 면 적 |
| 계 획 | 49.08 | 36,200 | 1,355 | 1.15 | 13 | 563.1 | - | - | 7 | 551.2 | 6 | 11.9 | - | - | - | - |
| 조 성 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| 조성율 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

자료 : 양평군(1998), 통계자료

양평군의 공원현황, 공원면적, 녹지에 관련된 내용은 < 표 IV-4 >, < 표 IV-5 >, < 표 IV-6 >, < 표 IV-7 >, < 표 IV-8 >과 같다.

< 표 IV-6 > 양평군 공원면적 분석표 (1997년 12월 31일)

| 행정구역 면적(km ²) | 인구(인) | 인구밀도 (인/km ²) | 공원면적(m ²) | | 공원면적율(%) | | 1인당 공원면적(m ² /인) | |
|------------------------------|--------|------------------------------|-----------------------|------|----------|------|--------------------------------|------|
| | | | 계획면적 | 시설면적 | 계획면적 | 시설면적 | 계획면적 | 시설면적 |
| 878.21 | 81,632 | 92.95 | 563,100 | - | 0.06 | - | 6.90 | - |

자료 : 양평군(1998) 내부자료로 본 연구자가 분석

< 표 IV-7 > 양평군 시설녹지현황

| 구 분 | 합 계 | | 완충녹지 | | 경관녹지 | |
|-----|-----|----------------------|------|----------------------|------|----------------------|
| | 개소 | 면적(천m ²) | 개소 | 면적(천m ²) | 개소 | 면적(천m ²) |
| 계 획 | 7 | 286,788 | 7 | 286,788 | - | - |
| 조 성 | - | - | - | - | - | - |
| 조성율 | - | 0% | - | 0% | - | - |

자료 : 양평군 내부자료

< 표 IV-8 > 양평군 녹지현황

| 구분 | 녹지면적 | 보존녹지 | 자연녹지 | 생산녹지 |
|----|-------|------|-------|------|
| 계 | 45.87 | - | 43.74 | 2.13 |

자료 : 양평군 내부자료

2.3. 하천현황

양평군에는 44개의 준용하천이 있으며, 2개의 직할하천이 있다. 총연장은 360.77km이고, 하천연장의 평균63%가 개수된 상태이다(표 IV-9 참조).

< 표 IV-9 > 양평군 하천현황 (1997년) (단위 : 개소/km)

| 구분 | 하천수 | 총연장 | 하천개수 | | | |
|----|-----|--------|--------|--------|-------|--------|
| | | | 요개수 | 기개수 | 미개수 | 개수율(%) |
| 계 | 46 | 360.77 | 199.01 | 125.92 | 73.09 | 63 |

자료 : 양평군(1998) 양평군 통계연보

하천 총연장은 360.77km로 양평군민 1인당 하천에 접할 수 있는 길이, 즉 1인당 하천변연장은 8.84m로 친수공간의 접근성이 매우 낮으며, 오염되어 접근하기 어려운 곳을 생각해 본다면 1인당 하천변 연장의 실제 길이는 더욱 짧아 질 것으로 예상된다(표 IV-10 참조).

< 표 IV-10 > 양평군 1인당 하천변연장

| 구분 | 하천 총연장(km) | 인구수(인) | 1인당 하천변연장(m) |
|----|------------|--------|--------------|
| 계 | 360.77 | 81632 | 8.84 |

주 : 1인당 하천변 연장 = (하천총연장 ÷ 인구수)×2(하천의 좌변+우변)

3. 이용가능한 위성자료 및 참조자료

이용가능한 위성자료로는 Landsat TM자료와 Spot HRV 자료, IRS-1C 등의 자료가 있으며, 본 분석에 이용한 위성자료의 목록은 다음의 표와 같다.

< 표 IV-11 > 이용가능한 자료

| 위성체 | 촬영일시 | Path | Row | sun elev. angle | sun azi. angle |
|------------|-----------|------|-----|-----------------|----------------|
| Landsat TM | 87. 4. 27 | 115 | 34 | 55.2 | 126.1 |
| | 94. 6. 1 | 115 | 34 | 60.4 | 113.2 |
| | 98. 10. 2 | 115 | 34 | 44.6 | 147.7 |
| | 99. 3. 27 | 115 | 34 | 47.1 | 139.2 |
| SPOT muli. | 96. 4. 16 | 305 | 275 | - | - |
| SPOT pan. | 98. 5. 5 | 305 | 275 | - | - |
| IRS multi. | 99. 5. 17 | 141 | 043 | - | - |

< 표 IV-12 > 이용가능한 참조자료

| 작성기관 | 자료명 |
|-------|-------|
| 환경부 | 현존식생도 |
| 산림청 | 임상도 |
| 국립지리원 | 지형도 |

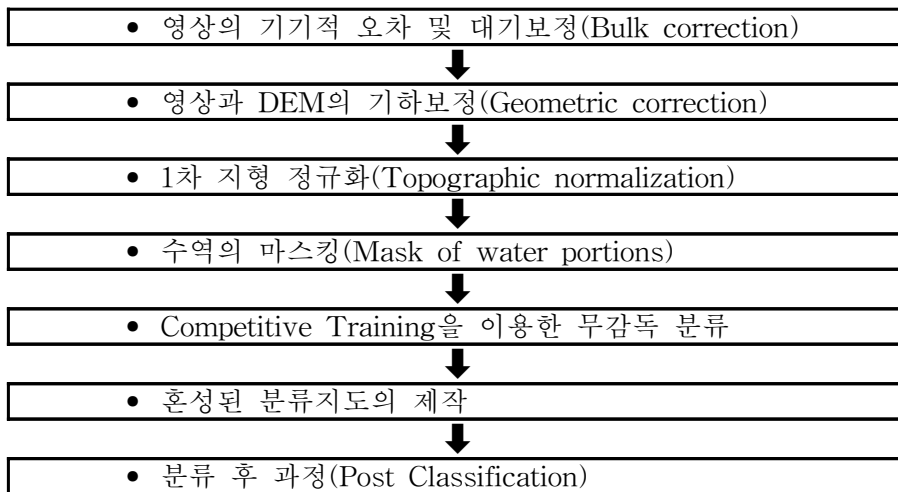
위성자료의 보정을 위하여 국립지리원 1:50,000 의 양수, 용두, 홍천, 이천, 여주, 원도의 수치지도를 이용하여 30m 해상도의 수치표고모형(DEM)을 생성하였다. 참조자료로는 현존식생도, 임상도를 활용하였다.

4. 분석결과물 및 시사점

4.1. 양평군 전체분석

4.1.1. 토지피복분류 결과

자료처리를 위해서는 Image Analyst 원격탐사 이미지 처리 프로그램과 MGE GIS프로그램을 이용하였으며, 분류작업은 < 부록 II >에 설명된 방법론을 활용하였다. 본 사례연구의 분류과정을 나타내면 < 그림 IV-6 >과 같다.

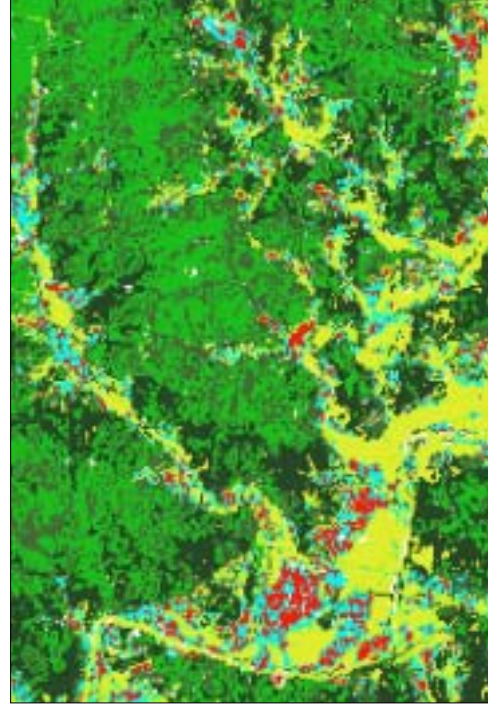


< 그림 IV-6 > 분류과정도

< 그림 IV-10 >은 연구지역의 1차 지형 정규화된 영상에 대하여 Competitive Training과 Maximum-likelihood 군집화를 이용한 무감독 분류 결과이다. 농업지역과 활엽수림의 일부는 녹지, 초지로 오분류 되었고 시가화건조지역은 농업지역 일부와 혼동이 되었다. 그리고 산림 지역에서는 침엽수, 활엽수, 혼효림의 경계가 대체로 잘 나타났다. 이 무감독 분류 결과는 감독분류를 위한 참조자료로 이용되었으며, 이를 이용한 최종결과물은 < 그림 IV-11 >과 같다 (그림 IV-7~9 참조).



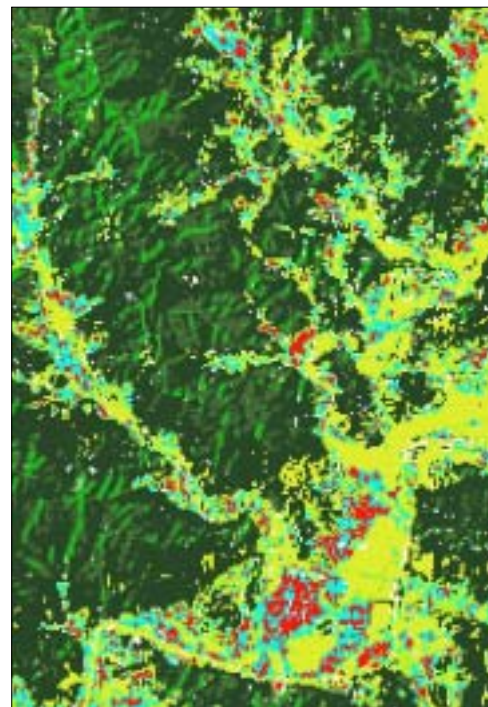
< 그림 IV-7 > 지형보정전의 RGB 합성



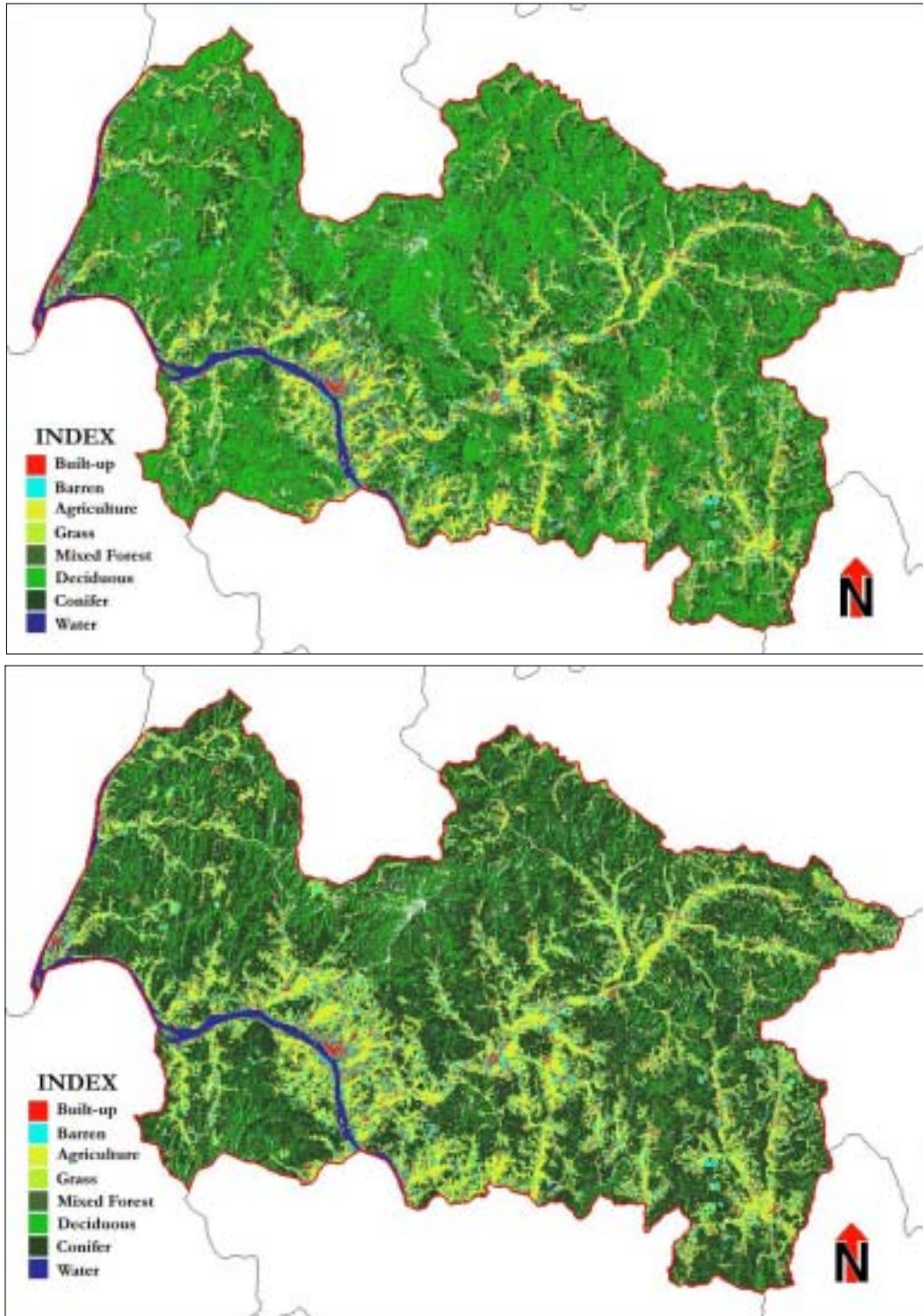
< 그림 IV-8 > 지형보정전의 분류결과



< 그림 IV-9 > 지형보정후의 RGB 합성



< 그림 IV-10 > 지형보정후의 분류결과



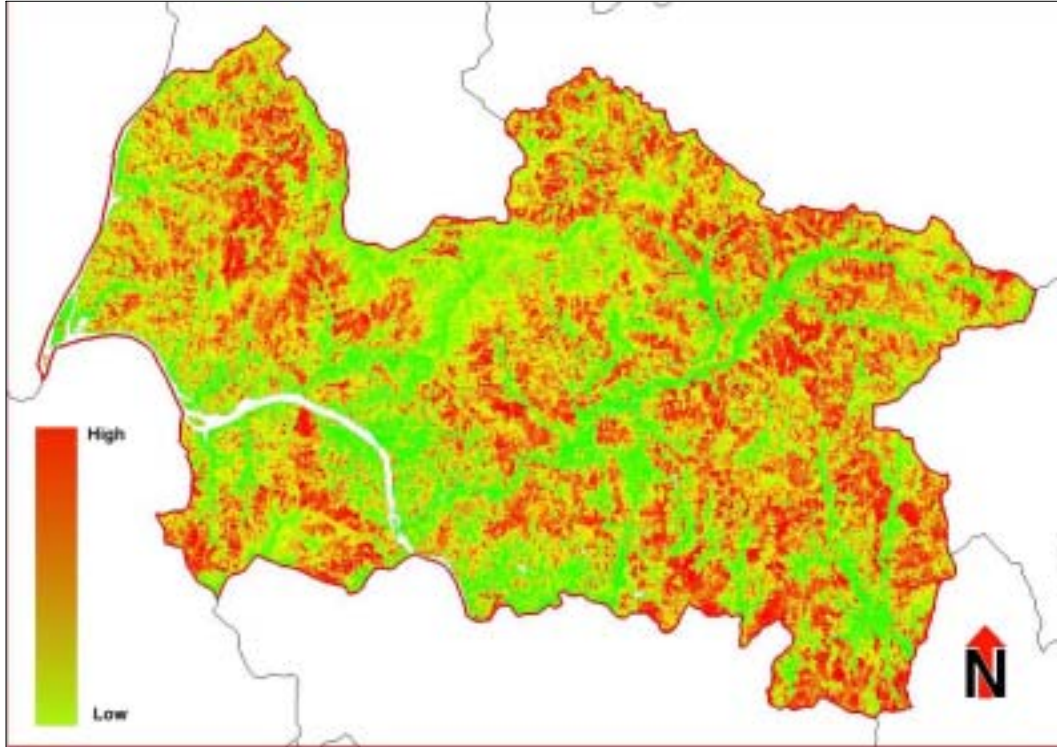
< 그림 IV-11 > 1994년 지형보정전 분류결과(위), 지형보정후 분류결과(아래)

4.1.2. 식생지수분석결과

III장의 이론적 고찰에서 파악된 식생지수중 NDVI와 Tasseled CAP의 Wetness 지수를 본 대상지역에 적용하여 분류하였다. NDVI는 식생의 광합성상태를 나타내주는 지수로 식생의 질을 파악하는데 활용될 수 있다. 본 연구에서는 NDVI의 결과비교를 통해 식생지역과 비식생지역의 파악, 활엽수림과 침엽수림지역 및 식생의 질을 파악할 수 있었다.

분석결과 1987년의 위성자료가 4월 27일자이므로 중부지역 활엽수림의 잎이 완전히 나

기 전이기므로 용문산 지역 활엽수림의 식생지수가 매우 낮게 나타나는 것을 파악할 수 있었다. < 그림 IV-12 >에서 붉은 색으로 보이는 지역은 잎이 있어서 광합성 작용을 하는 지역으로 붉은 색의 강도가 진할수록 식생의 광합성 상태가 왕성한 것을 나타낸다. 이 지역에서의 농경지도 모내기가 이루어지지 않아 매우 낮은 식생지수를 보이고 있다.



< 그림 IV-12 > 1987년 NDVI 분석결과

1987년의 위성영상자료 분석결과 4월이라는 계절 특성으로 인해 3등급과 4등급지역이 가장 많은 비율을 차지하고 있으며, 1994년의 위성영상자료 분석결과 4등급에 해당되는 지역이 가장 많은 비중을 차지하고 있다(표 IV-13 참조).

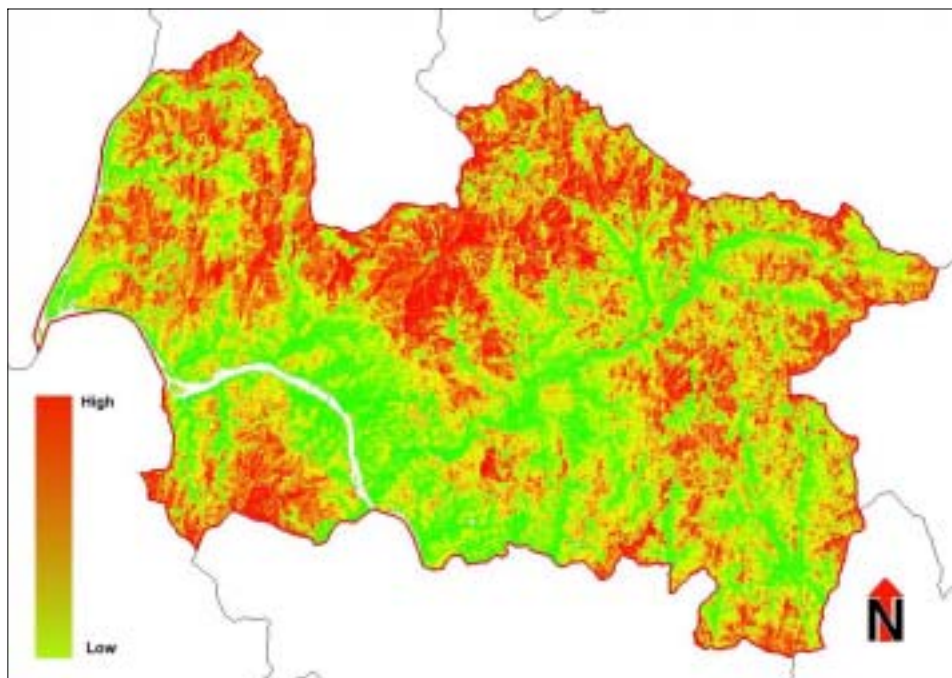
< 표 IV-13 > 1987년 위성영상자료의 NDVI 분석결과

| 구 간 | 구간비율(%) | 누적비율(%) |
|------------------------|---------|---------|
| $x < m-2sd$ | 1.95 | 1.95 |
| $m-2sd \leq x < m- sd$ | 13.28 | 15.23 |
| $m- sd \leq x < m$ | 34.39 | 49.62 |
| $m \leq x < m+ sd$ | 34.62 | 84.24 |
| $m+ sd \leq x < m+2sd$ | 13.12 | 97.36 |
| $m+2sd \leq x$ | 2.64 | 100.00 |

주 : m(평균), sd(표준편차)

1994년의 위성영상자료의 분석은 1987년과 비교하여 용문산 지역의 식생지수가 매우 높게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 6월1일자의 위성영상자료에서는 활엽수림 대부분의 잎이 나와 있기 때문이다. 이와 같이 봄 영상과 초 여름영상을 비교하면, 침엽수림지역과 활엽수림

지역을 명확히 구분해 낼 수 있다(그림 IV-13, 표 IV-14 참조).



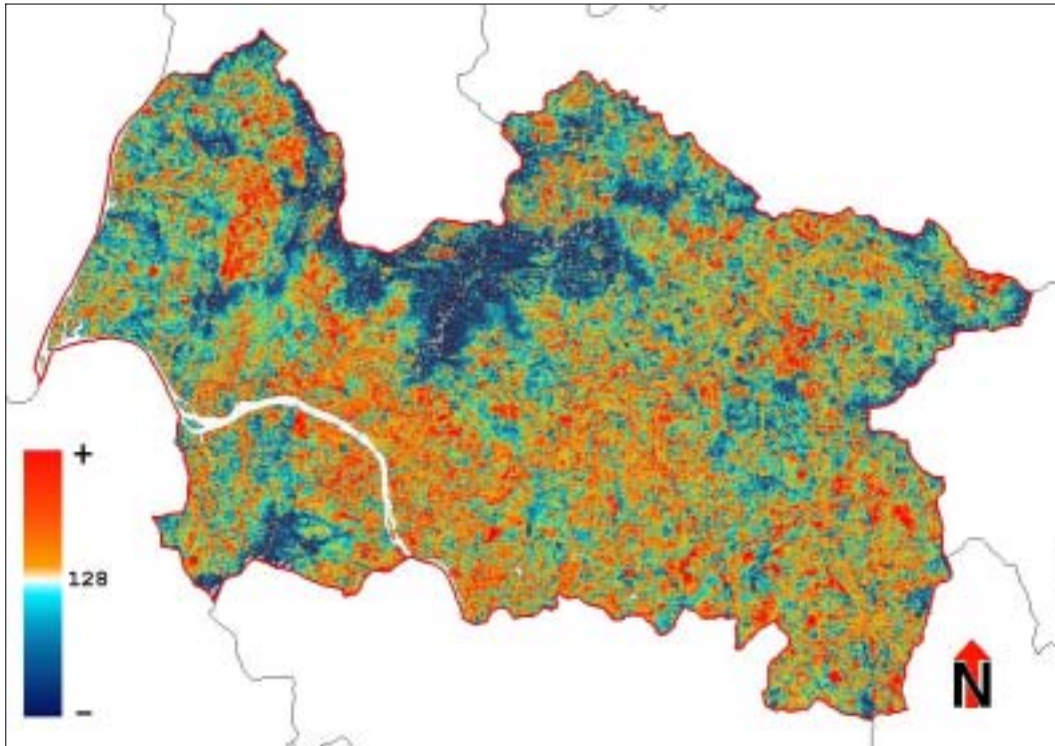
< 그림 IV-13 > 1994년 NDVI 분석결과

< 표 IV-14 > 1994년 위성영상자료의 NDVI 분석결과

| 구간 | 구간비율(%) | 누적비율(%) |
|------------------------|---------|---------|
| $x < m-2sd$ | 6.83 | 6.83 |
| $m-2sd \leq x < m- sd$ | 11.05 | 17.88 |
| $m- sd \leq x < m$ | 15.79 | 33.67 |
| $m \leq x < m+ sd$ | 60.45 | 94.12 |
| $m+ sd \leq x < m+2sd$ | 5.88 | 100.00 |
| $m+2sd \leq x$ | 0.00 | 100.00 |

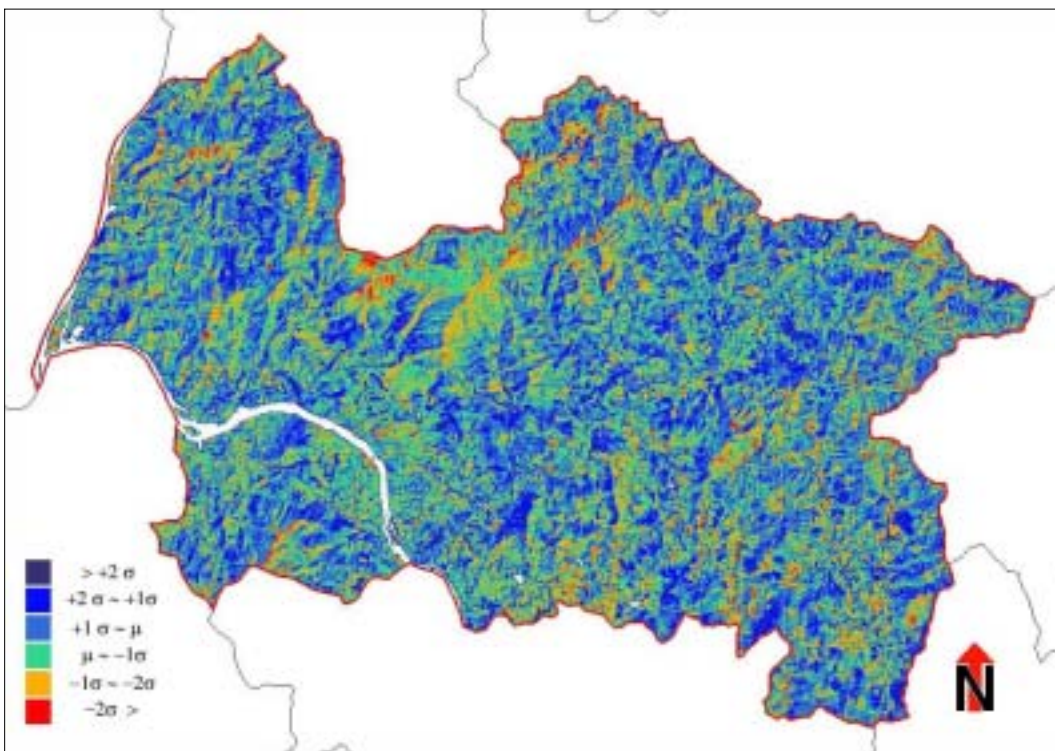
주 : m(평균), sd(표준편차)

1987년과 1994년 위성영상자료간의 시계열적인 분석을 해보면, < 그림 IV-14 >에 보여지는 파란 색 지역의 대부분이 활엽수림이라는 것을 파악할 수 있다.



< 그림 IV-14 > 1987년에서 1994년까지의 NDVI 지수의 변화

Wetness 지수분석결과 시가화지역과 식생의 상태가 열악한 지역의 지수 값이 낮게 나타나는 것을 파악할 수 있었다. 1987년의 분석결과는 용문산 지역 중 정상부문에 나지가 존재함으로 인해 지수 값이 낮게 산출되었으며, 농경지에는 아직 물이 차지 않고, 작물도 심겨지지 않아 매우 낮은 지수 값을 보이고 있다(그림 IV-15, 표 IV-15 참조).

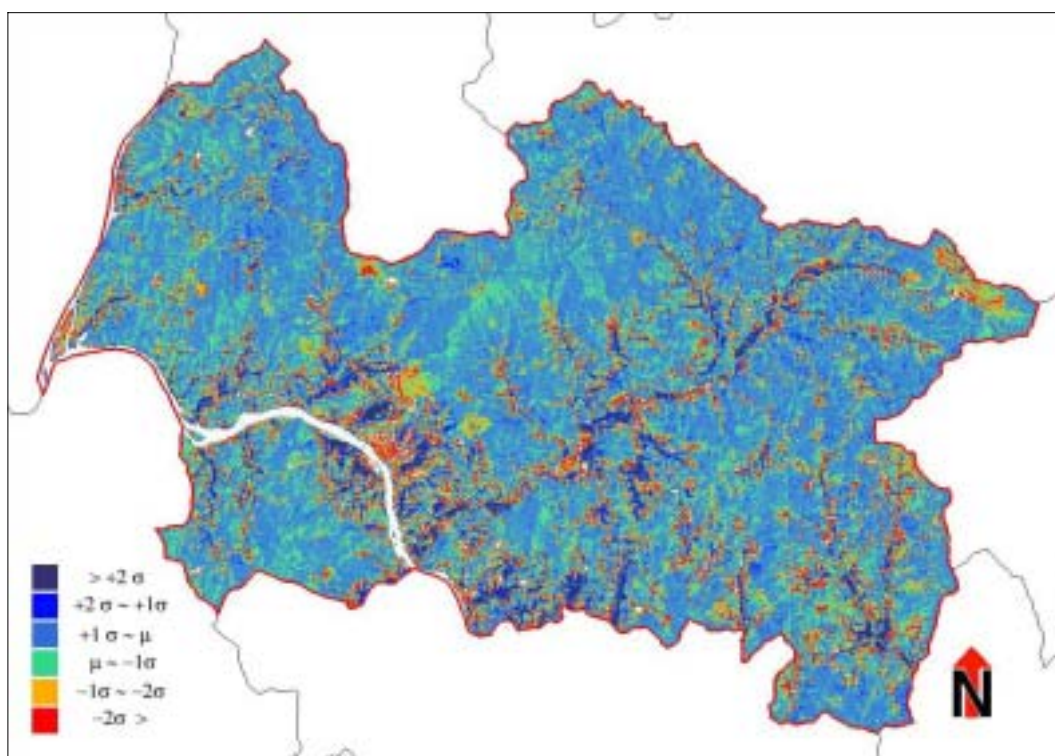


< 그림 IV-15 > 1987년 WETNESS 지수 분석결과

< 표 IV-15 > 1987년 위성영상자료의 WETNESS 지수 분석결과

| 구간 | 구간비율(%) | 누적비율(%) |
|------------------------|---------|---------|
| $x < m-2sd$ | 1.70 | 1.70 |
| $m-2sd \leq x < m- sd$ | 14.53 | 16.23 |
| $m- sd \leq x < m$ | 33.39 | 49.62 |
| $m \leq x < m+ sd$ | 32.01 | 84.64 |
| $m+ sd \leq x < m+2sd$ | 16.60 | 98.24 |
| $m+2sd \leq x$ | 1.76 | 100.00 |

1994년의 분석결과는 1987년의 분석결과와 다른 패턴을 보이고 있다. 우선 6월이라는 계절적 요인으로 인해 식생지역의 대부분이 중간 이상의 지수 값을 보이고 있으며, 농경지 중 특히 논은 모내기가 이루어져 높은 지수 값을 보이고 있다. 이와 같은 분석결과를 활용할 경우 논 또는 내륙습지와 같이 수분의 함유도가 높은 지역의 추출에 활용할 수 있다(그림 IV-16, 표 IV-16 참조).

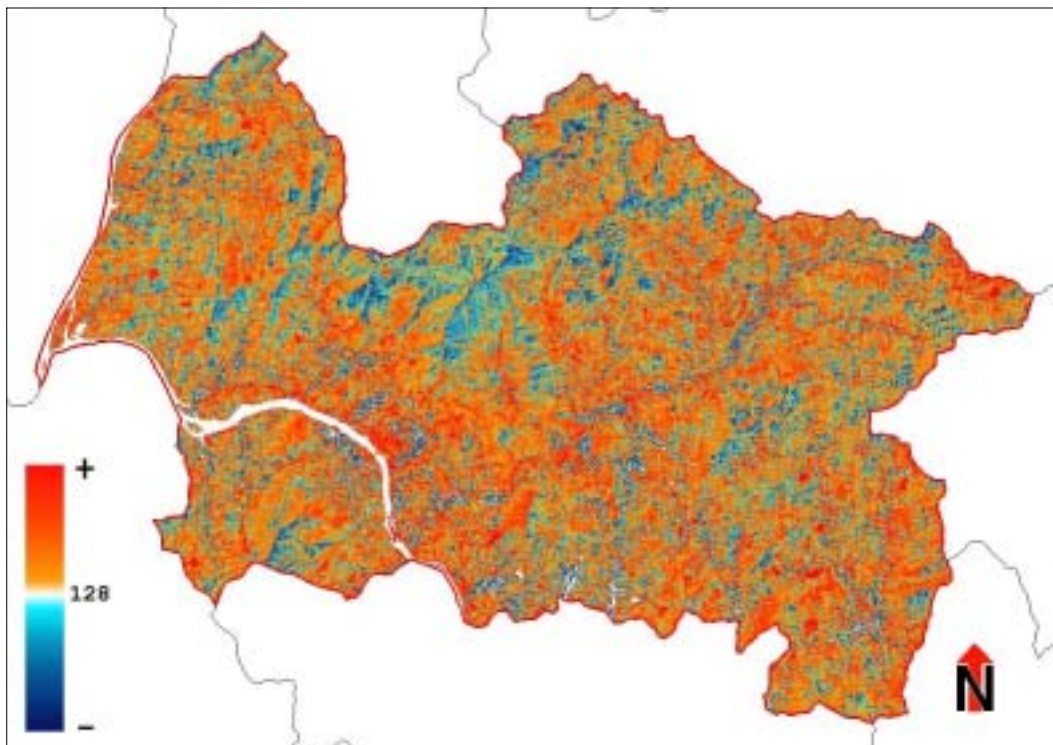


< 그림 IV-16 > 1994년 WETNESS 지수 결과물도

< 표 IV-16 > 1994년 위성영상자료의 WETNESS 지수 분석결과

| 구간 | 구간비율(%) | 누적비율(%) |
|------------------------|---------|---------|
| $x < m-2sd$ | 5.51 | 5.51 |
| $m-2sd \leq x < m- sd$ | 8.11 | 13.62 |
| $m- sd \leq x < m$ | 22.44 | 36.06 |
| $m \leq x < m+ sd$ | 55.99 | 92.06 |
| $m+ sd \leq x < m+2sd$ | 5.97 | 98.02 |
| $m+2sd \leq x$ | 1.98 | 100.00 |

< 그림 IV-17 >은 1987년에서 1994년까지 wetness 지수로 붉은 색은 지수값이 증가한 것을 나타내고, 파란 색은 지수값이 감소한 것으로 주로 농경지와 산림중 활엽수림의 위치를 나타내고 있다.



< 그림 IV-17 > 1987년에서 1994년까지의 WETNESS 지수의 변화

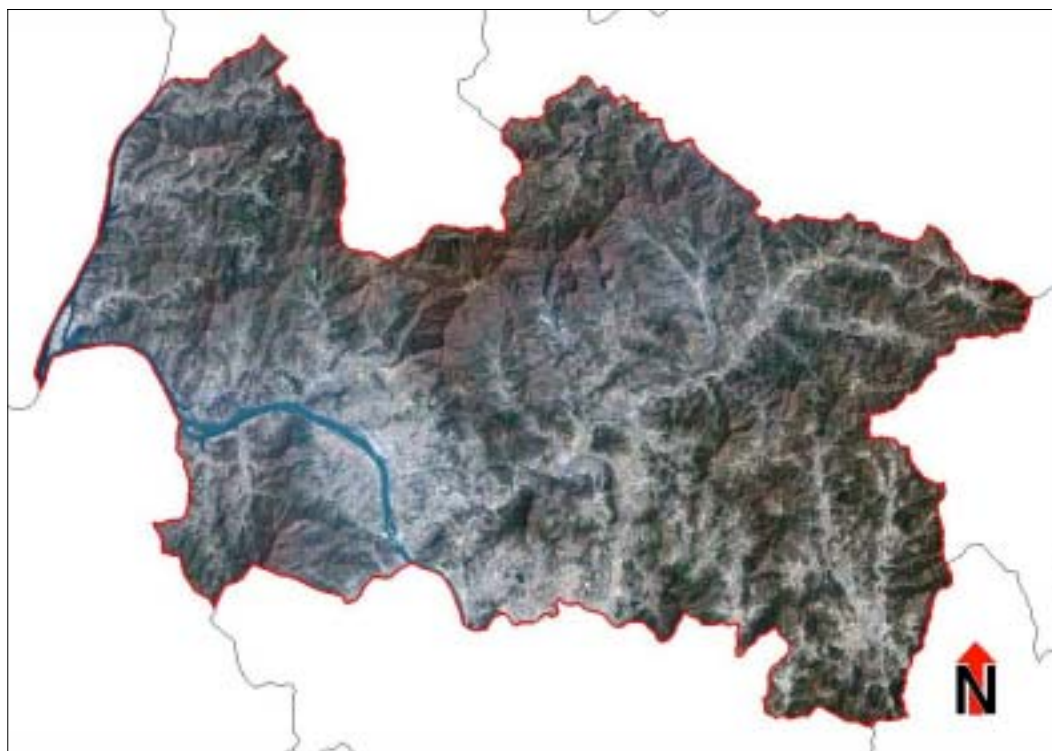
4.1.3. 식생분류 결과

식생의 군락별 분류를 파악하기 위하여 주성분 분석(Principle Component Analysis)을 수행하였으며, 이 결과물과 참조자료로 이용하는 임상도 및 현존식생도와 비교를 통하여 방법론의 정확성을 검증하였다.

< 표 IV-17 > 1987년 영상의 주성분 분석결과

| 주성분 축 | Eigenvalue(%) | 누적 Eigenvalue(%) |
|-------|---------------|------------------|
| 제1축 | 87.94 | 87.94 |
| 제2축 | 6.50 | 94.44 |
| 제3축 | 3.83 | 98.27 |
| 제4축 | 0.91 | 99.18 |
| 제5축 | 0.43 | 99.61 |
| 제6축 | 0.33 | 99.94 |
| 제7축 | 0.06 | 100.00 |

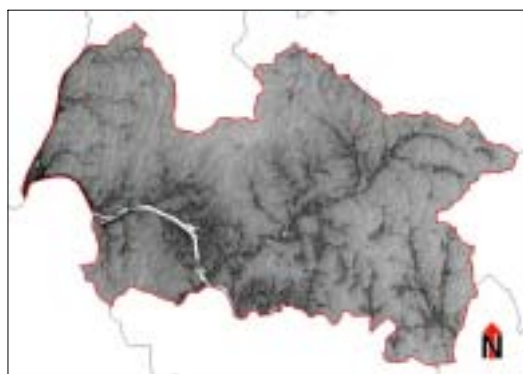
1987년의 주성분 분석결과 제1축에서의 설명력이 87.94%로 거의 대부분을 잘 반영하고 있으며, 제2축과 제3축이 각각 6.50%, 3.83%를 설명하고 있어 이들 3개의 축만을 가지고도 전체자료량의 98.27%를 설명할 수 있다. 따라서 이들 3개의 축을 가지고 RGB 컬러합성을 수행하였다. 주성분 분석에서 식생의 특성을 잘 반영하고 있는 것은 제2축이다(그림 IV-18~22 참조).



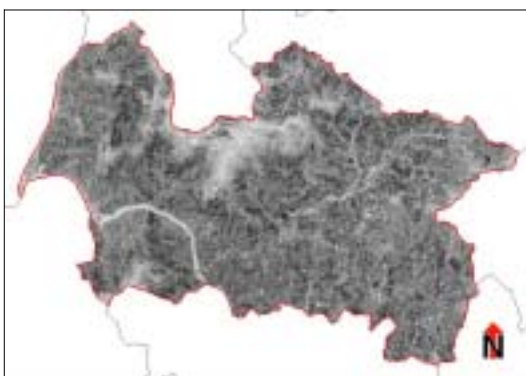
< 그림 IV-18 > 1987년도 True Color 합성도



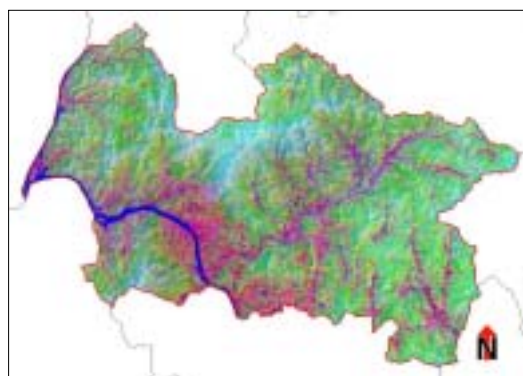
< 그림 IV-19 > 1987년도 PCA 제1축



< 그림 IV-20 > 1987년도 PCA 제2축



< 그림 IV-21 > 1987년도 PCA 제3축



< 그림 IV-22 > 1987년도 PCA 컬러합성물

1987년의 주성분 분석결과물과 임상도를 중첩시킨 결과 매우 유용한 결과를 파악할 수 있었다. < 그림 IV-23 >과 같이 전체적인 분포패턴이 유사한 결과를 보이는 것을 파악할 수 있었으나, 부분적으로 경계선이 많은 차이가 나는 것을 파악할 수 있었다. 이는 다음과 같이 여러 가지 이유 때문으로 볼 수 있다.

첫째, 임상도에서 분류하는 기준과 위성영상에서의 분포패턴이 다름으로 인해 차이가 날 수 있다.

둘째, 위성영상자료와 임상도간의 자료입수시기의 차이로 인해 경계부위가 다르게 나타날 수 있다. 이로 인해 개발된 지역은 위성영상자료에서는 개발지로 나오는데 반해 임상도에서는 식생지역으로 되어 있을 수 있다는 것을 생각해 볼 수 있다.

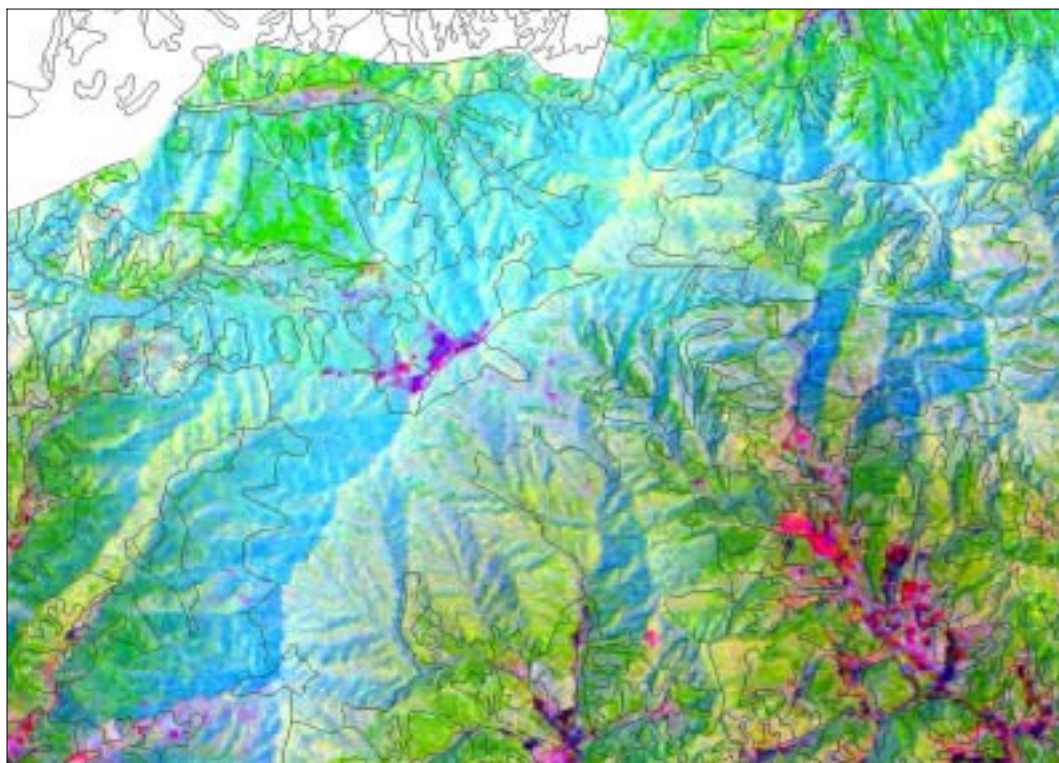
셋째, 인공위성영상자료는 활엽수의 잎이 나기전인 4월 자료이므로 인해 임상도와 차이가 있는 것으로 판단된다.

넷째, 임상도는 흑백항공사진으로부터 질감을 가지고 분류하는 것으로 적외선영역에서 분류하는 것과는 차이가 있을 수 있을 것으로 판단된다.

다섯째, 항공사진을 도화하는 과정에서의 오차로 인해 약간의 지역은 경계가 차이가 있을 수 있을 것으로 판단된다.

여섯째, 위성영상자료의 좌표계 등록시 오차가 포함되었을 수도 있을 것으로 판단된다.

일곱째, Landsat TM의 공간해상도는 30m인데 반해, 임상도를 구축할 시 사용한 항공사진의 축척은 1:15,000으로 공간해상도에서 차이가 존재하기 때문에 경계에서 차이가 있을 것으로 생각된다.



< 그림 IV-23 > 1987년 위성영상과 임상도의 중첩 영상

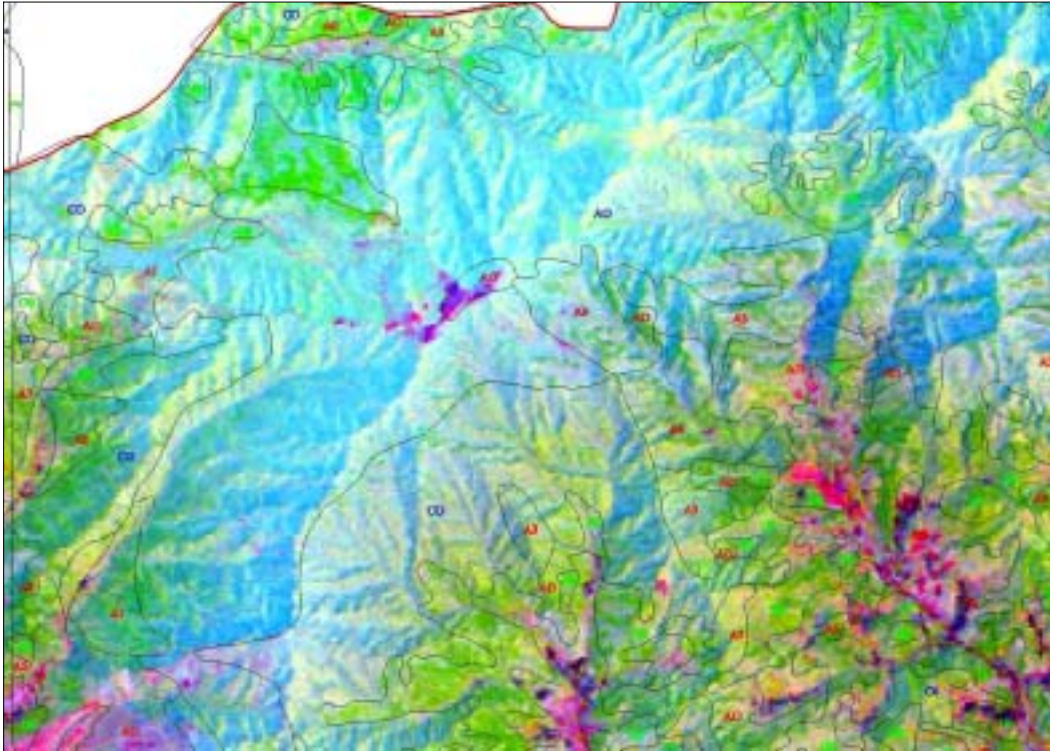
현존식생도와 위성영상자료 분석결과와 중첩한 결과 < 그림 IV-24 >와 같이 역시 미세하게 틀리는 지역이 발견되었다. 이러한 차이로 아래와 같은 유용한 결과를 파악할 수 있었다.

첫째, 현존식생도는 대부분의 지역이 전문가들의 현지답사에 의해 조사된 것으로 일정지역에 그와 같은 식생이 위치하고 있다는 점에서는 이견이 없으나, 경계선은 현지답사에 의한 수작업에 의해 작성된 것으로 많은 차이가 있을 것으로 판단된다. 그러나, 전체적인 분포패턴은 매우 유사하다는 것을 파악할 수 있었다.

둘째, 임상도와 비교해 볼 때 현존식생도와 위성자료의 호환가능성이 더 크다는 것을 파악할 수 있었다.

셋째, 위성영상자료의 계절에 따라 매우 다른 결과를 보여주고 있다. 일례로 잎이 나기 시작하는 3월말부터 5월초까지의 영상이 대부분의 식생군락의 구분에 있어서 매우 유용한 결과를 도출하고 있음을 파악할 수 있었다.

넷째, 특정수종의 파악에 있어서는 그 수종의 잎이 나는 시기와 그 특성을 파악한다면, 이의 전국적인 분포현황을 파악할 수 있을 것으로 판단된다. 이부분은 세부식생분류에서 수행할 것이다.

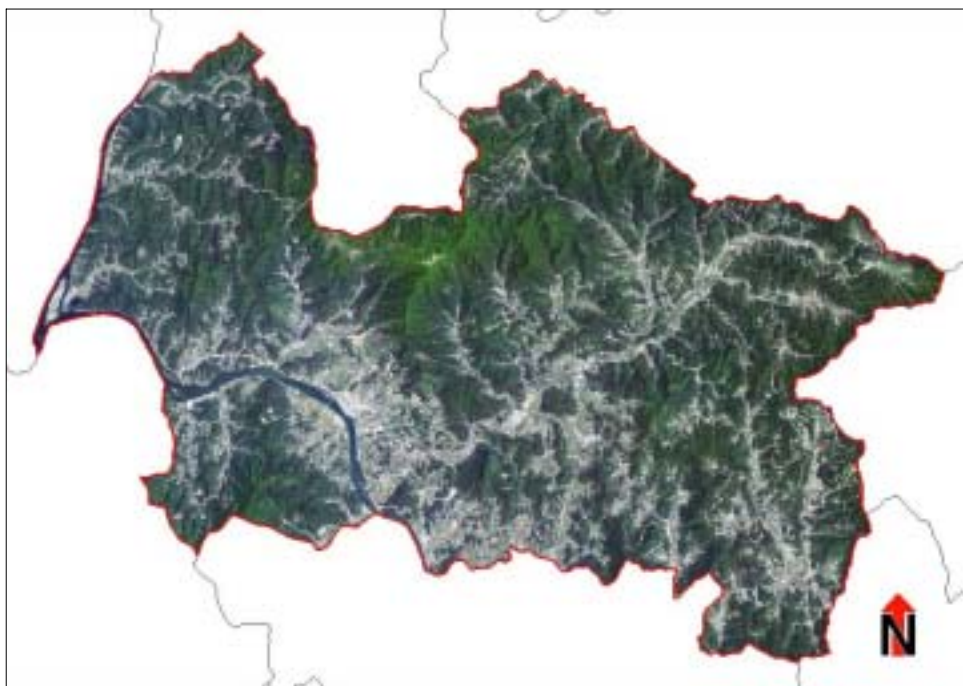


< 그림 IV-24 > 1987년도 위성영상과 현존식생도의 중첩영상

1994년의 위성영상도 1987년의 위성영상자료와 같은 주성분분석기법으로 분석을 수행하였다. 분석결과 제1축이 61.39%의 자료를 설명하고 있으며, 제2축과 제3축이 각각 35.03%와 2.87%를 설명하고 있었다. 이들 3개의 축만으로도 전체자료에 대해 99.29%를 설명하고 있었다(표 IV-18 참조).

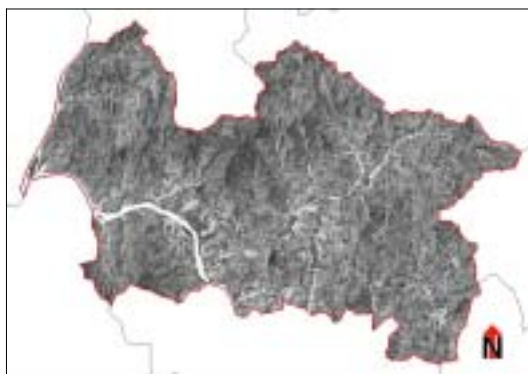
< 표 IV-18 > 1994년 영상의 주성분분석(PCA) 결과

| 주성분 축 | Eigenvalue(%) | 누적 Eigenvalue(%) |
|-------|---------------|------------------|
| 제1축 | 61.39 | 61.39 |
| 제2축 | 35.03 | 96.42 |
| 제3축 | 2.87 | 99.29 |
| 제4축 | 0.36 | 99.65 |
| 제5축 | 0.27 | 99.92 |
| 제6축 | 0.08 | 100.00 |

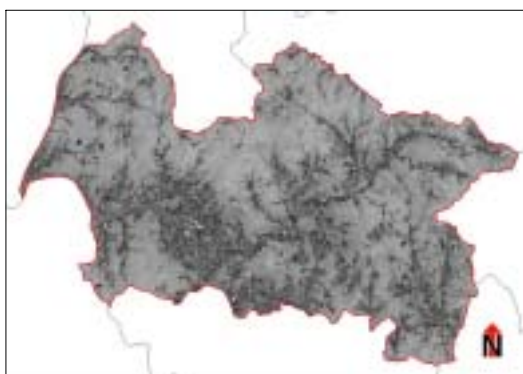


< 그림 IV-25 > 1994년도 True Color 합성도

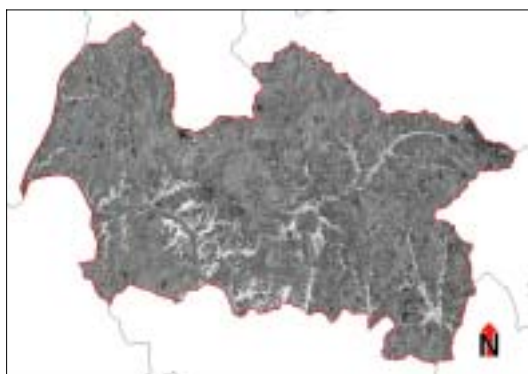
<그림 IV-25 >은 1994년 Landsat TM 영상의 True Color 합성도이며, < 그림 IV-26 > 부터 < 그림 IV-29 >은 주성분분석에 의해 도출된 결과물들이다. 1987년의 영상과 비교하여 1994년의 영상은 낙엽활엽수림의 잎이 지표면을 덮고 있어 제1축의 설명력이 1987년과 비교하여 현저히 떨어지고 있는 것을 볼 수 있다. 또한 제2축은 1987년과 비교하여 현저히 높아진 것을 파악할 수 있다.



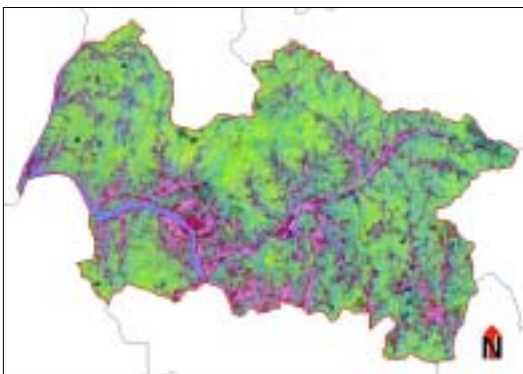
< 그림 IV-26 > 1994년도 PCA 제1축



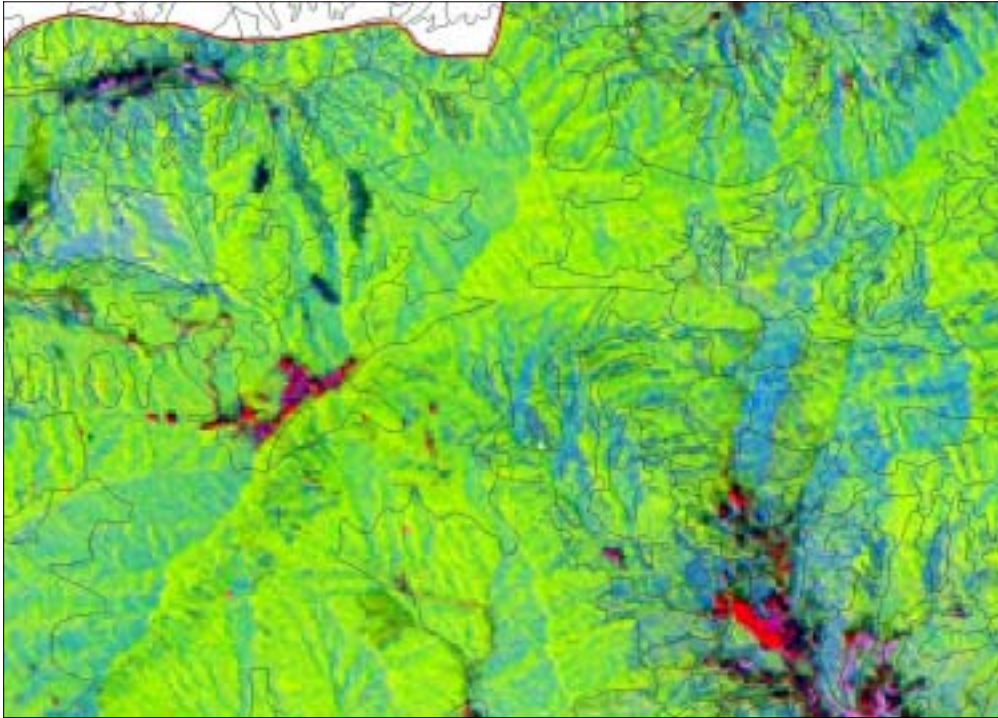
< 그림 IV-27 > 1994년도 PCA 제2축



< 그림 IV-28 > 1994년도 PCA 제3축

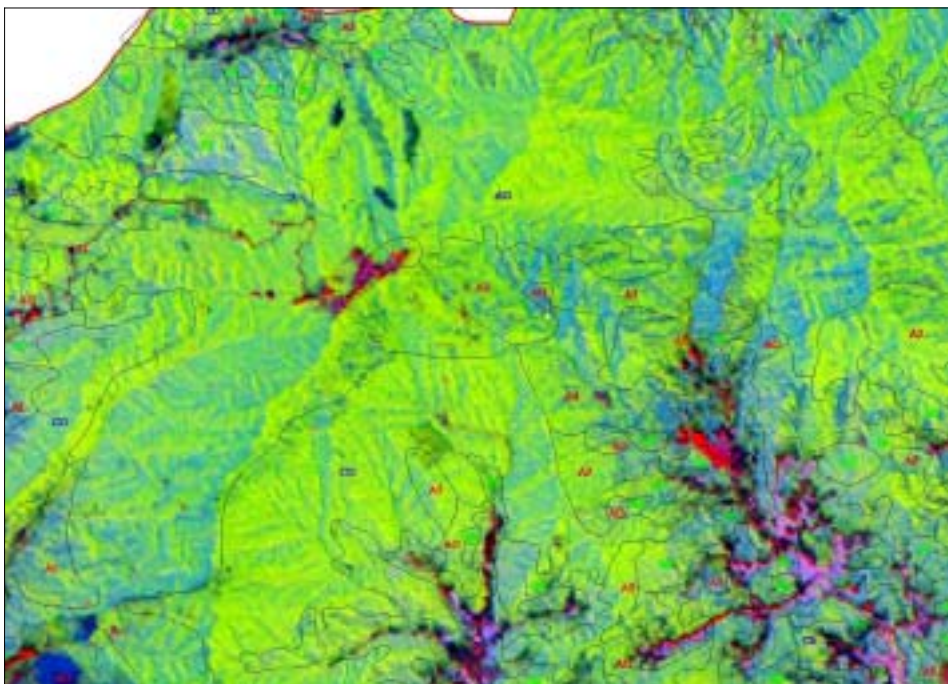


< 그림 IV-29 > 1994년도 PCA컬러합성물



< 그림 IV-30 > 1994년 위성영상분류결과와 임상도를 중첩한 결과

분류결과와 임상도 및 현존식생도를 중첩하여 보았을 때, < 그림 IV-30 >과 < 그림 IV-31 >과 같이 1987년도의 영상과 비교하여 색감의 차이를 구별하기 어려우며, 이로 인해 군락단위의 식생의 변화를 시각적으로 확인하기 곤란한 것을 파악할 수 있다. 따라서 계절적으로 4월의 자료가 6월의 자료에 비해 본 연구에서 이용한 방법을 이용할 경우 분류가 용이하다는 것을 파악할 수 있었다.



< 그림 IV-31 > 1994년 위성영상분류결과와 현존식생도를 중첩한 결과

4.2. 심층분석

전항에서 분류한 결과물은 양평군 전체를 대상으로 한 것으로 이를 좀더 세부적으로 분석하고 고찰하기 위하여 양평군 전체지역중 1:25,000 축척의 1도엽을 선정하여 분류 및 분석을 시행하였다.

분석을 행하기 전에 대상지역의 현존식생도의 경계의 정확도를 검증하기 위하여 현존식생도와 위성자료를 중첩하여 분석을 행하였으며, 군락의 정확도 검증을 위하여 현장조사를 실시하였다.

심층분석에서는 위성자료별 시기별 식생분류의 특성과 위성자료간의 합성을 통한 정확도 향상에 대하여 연구하였으며, 한가지 식생종에 대한 군락위치 파악방법에 대하여 연구하였다. 식생질의 평가와 관련하여 현재 널리 사용되고 있는 정규식생지수의 한계점과 이를 극복하기 위한 대안을 제시하였다.

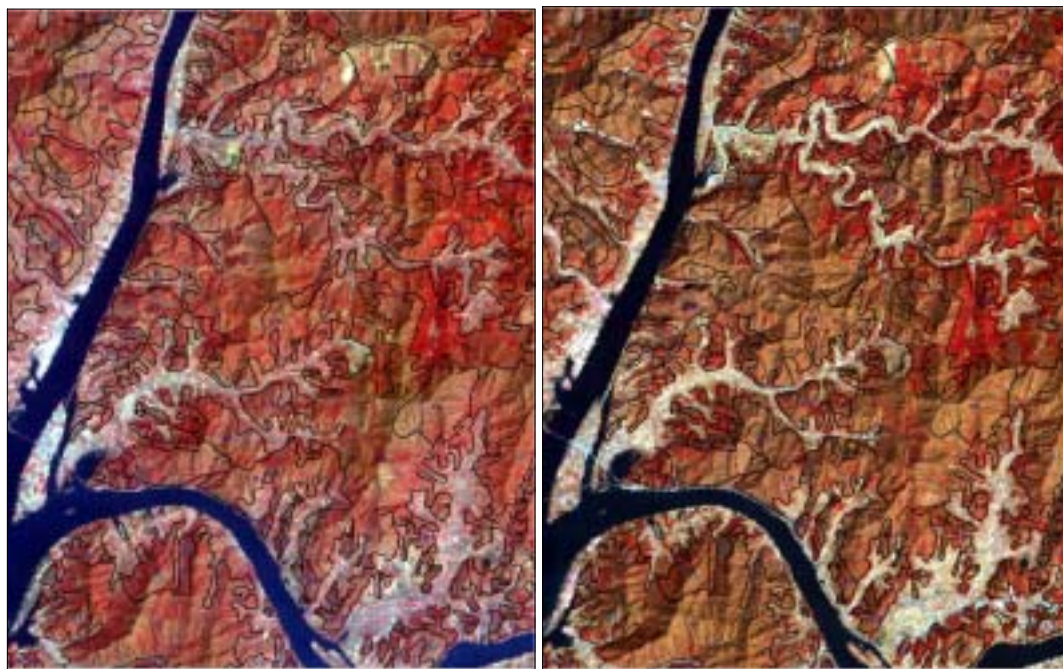
4.2.1. 현존식생도의 문제점

4.2.1.1. 현존식생도 경계의 문제점

분석을 행하기에 앞서 현존식생도의 정확도를 고찰하기 위하여 대상지역내의 식생군집의 폴리곤을 위성영상자료와 중첩하여 본 결과 경계부분에서 차이가 나는 지역이 많이 발생하고 있는 것을 파악할 수 있었는데, 이유는 다음과 같다.

첫째, 현존식생도의 대부분은 현장조사에 의해 조사자가 손으로 지형도위에 식생의 경계를 그린 것이 대부분이므로 경계가 불일치한 것이 많다.

둘째, 현존식생도의 작성 시점과 위성영상자료간의 시기의 불일치 때문이다. < 그림 IV-32 >에서 볼 수 있는 것과 같이 1987년부터 1999년까지 연구대상지역에서 개발이 사업이 이루어졌거나, 식생의 벌채가 이루어졌거나, 여타 산림지역이 줄어들어는 행위가 발생할 경우 경계가 불일치 할 수 있다.



< 그림 IV-32 > 현존식생도와 인공위성영상자료간의 일치성

주 : 좌(1987년 4월 27일) 우(1999년 3월 27일)

4.2.1.2. 현존식생도 군집 속성의 문제점

현존식생도는 대부분 조사자의 시각에 의존하고 있으므로 인해, 시각적으로 색이 다르거나, 질감이 다른 대단위 면적은 다른 군집으로 분류되나, 여러 수종이 혼합되어 있는 군집에서는 이의 구별이 곤란하다. 따라서 이와 같은 관점에서 현존식생도의 정확도를 검증하였다.

4.2.1.3. 군집조사 방법론

식물군집의 생태학적 분석방법에는 정성적 방법과 정량적 방법으로 나눌 수 있는데, 본 연구에서는 식물군집의 현황을 알기 위해서 상대우점 분석을 통해 기초자료를 구축하여 적용하였다.

(1) 조사구 설정 및 식생조사

조사구는 각 조사지에 방형구법(Quadrat method)을 사용하여 10m×10m의 방형구를 설치하여 조사하였다. 식생조사는 각 조사구내에 출현하는 수종을 대상으로 하였으며, 목본수종 중 흉고직경 2cm이상을 교목·아교목층, 그 이하를 관목층으로 구분하여 교목층과 아교목층은 수종명과 흉고직경을, 관목은 수관투영면적을 측정하였다.

(2) 상대우점치 분석

각 조사구의 수관층위별 종간 상대적 우세를 비교하기 위하여 Curtis & McIntosh(1951) 방법으로 상대우점치(I.V.:importance value)를 구하였고, 수고를 고려하여 평균상대우점치(M.I.V.: mean importance value)를 다음과 같은 식을 이용하여 구하였다.

$$I.V. = \frac{\text{상대밀도} + \text{상대피도}}{2}$$

$$M.I.V. = \frac{3 \times \text{교목상층 I.V.} + 2 \times \text{교목하층 I.V.} + 1 \times \text{관목층 I.V.}}{6}$$

(3) 수관투영 및 층위구조분석

식물군집구조 조사구 중 대표되는 지역의 교목층과 아교목층의 수관투영도 및 층위구조를 도면으로 작성하여 그 구조를 분석하였다.

4.2.1.4. 현장조사결과

본 과업에서 현장조사를 실시한 지역은 아래의 그림과 같이 4개의 지역으로 본 사례연구 대상지역에서 넓은 면적을 점하고 있는 굴참나무 군락과 신갈나무 군락 지역이었다. 조사결과 현존식생도와 현지조사간에는 차이가 존재하였으나, 인공위성영상자료를 이용한 분류결과물의 정확도를 검증하기 위해서는 참조자료가 필요하였고, 현재 이용가능한 자료는 현존식생도 뿐이다. 따라서 현존식생도에 대해서는 다음과 같은 가정을 설정하고 분류결과와 현존식

생도간에 개략적인 정확도를 비교하였다.

첫째, 현존식생도의 경계는 여러 가지 이유로 정확하지는 않으나, 그 부근에 그 수종의 군락이 존재한다는 것을 가정한다.

둘째, 현존식생도내에는 아래의 예에서와 같이 1개의 군락내에 다른 군락이 존재하고 있다는 것을 인정하고, 전체적인 분류결과를 현존식생도와 비교하는 것으로 한다.



< 그림 IV-33 > 양평군 현장 조사 지점의 위치와 현존 식생도 수종

(1) 1번 지역의 층위별 우점치

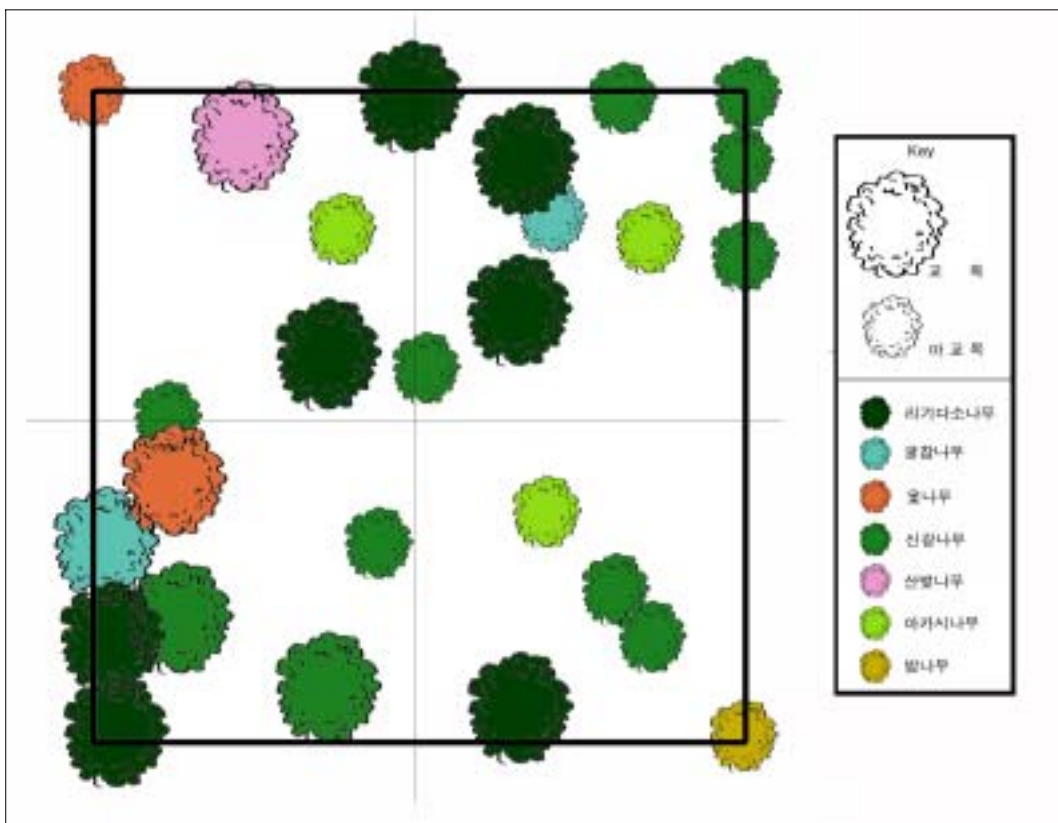
1번 지역의 층위별 우점치중 최상층인 교목층의 우점도값을 보면 갈참이 40%로 가장 높고 굴참나무가 20%, 신갈나무가 25%로 조사되었다. 이는 현존식생도에 있는 군락명이 현지 조사에도 발견된 것이나, 면적비율이 가장 높지는 않았다. 1번 조사대상지역의 현황사진은 < 그림 IV-34 >와 같으며, 입면도 및 단면도는 < 그림 IV-35 >와 , < 그림 IV-36 >과 같다.

< 표 IV-19 > 1번 지역의 수종조사

| | | | |
|------|-----|-----------|-----|
| 교목층 | 수종명 | 갈 참 나 무 | 40% |
| | | 굴 참 나 무 | 20% |
| | | 신 갈 나 무 | 25% |
| | | 소 나 무 | 5% |
| | | 밤 나 무 | 5% |
| | | 산 벚 나 무 | 5% |
| 아교목층 | 수종명 | 갈 참 나 무 | 50% |
| | | 굴 참 나 무 | 7% |
| | | 신 갈 나 무 | 36% |
| | | 노 간 주 나 무 | 7% |
| 관목층 | 수종명 | 갈 참 나 무 | 57% |
| | | 밤 나 무 | 9% |
| | | 난티잎개암나무 | 17% |
| | | 참 싸 리 | 4% |
| | | 땡 땡 이 덩 굴 | 13% |



< 그림 IV-34 > 1번지점의 현황사진(근경(좌), 원경(우), 99. 7. 30)



< 그림 IV-35 > 식생수관 분포 단면도



< 그림 IV-36 > 식생수관 분포 입면도

(2) 2번지역의 층위별 우점치

2번지역은 현존식생도에서는 신갈나무 군락으로 조사되었으나, 본 현지조사에서는 교목층은 굴참나무가 75%, 밤나무가 25%로 굴참나무와 밤나무의 혼합림이 우점종인 것으로 조사되었다(표 IV-20, 그림 IV-37 참조).

< 표 IV-20 > 2번 지역의 수종조사

| | | | |
|------|-----|-----------|------|
| 교목층 | 수종명 | 굴 참 나 무 | 75 |
| | | 밤 나 무 | 25 |
| 아교목층 | 수종명 | 굴 참 나 무 | 40 |
| | | 노 간 주 나 무 | 20 |
| | | 밤 나 무 | 20 |
| | | 물 박 달 나 무 | 20 |
| 관목층 | 수종명 | 난티잎개암나무 | 11.5 |
| | | 굴 참 나 무 | 3.8 |
| | | 신 갈 나 무 | 11.5 |
| | | 갈 참 나 무 | 11.5 |
| | | 참 싸 리 | 7.9 |
| | | 밤 나 무 | 7.9 |
| | | 사 위 질 빵 | 3.8 |
| | | 취 똥 나 무 | 11.5 |
| | | 물 박 달 나 무 | 15.3 |
| | | 진 달 래 | 11.5 |
| | | 맹 맹 이 덩 굴 | 3.8 |



< 그림 IV-37 > 2번지역의 현황사진 원경(99. 7. 30)

(3) 3번지역의 층위별 우점치(%)

3번지역은 현존식생도상으로는 굴참나무군락으로 조사되어있으나, 본 조사에서는 신갈나무가 100%를 차지하는 신갈나무 군락으로 조사되어 많은 차이를 보이고 있다(표 IV-21 참조).

< 표 IV-21 > 3번지역의 층위별 수종조사

| | | | |
|------|-----|-----------|------|
| 교목층 | 수종명 | 신 갈 나 무 | 100 |
| 아교목층 | 수종명 | 신 갈 나 무 | 27 |
| | | 진 달 래 | 73 |
| 관목층 | 수종명 | 난티잎개암나무 | 33.4 |
| | | 진 달 래 | 11.1 |
| | | 청 가 시 덩 굴 | 11.1 |
| | | 아 까 시 나 무 | 11.1 |
| | | 산 초 | 11.1 |
| | | 참 싸 리 | 11.1 |
| | | 신 갈 나 무 | 11.1 |

(4) 4번지역의 층위별 우점치(%)

4번지역의 현존식생도상의 군락은 신갈나무이나, 본 조사에서는 리기다소나무가 82% 밤나무와 굴참나무가 각각 9%를 차지하는 리가다나무 군락으로 조사되었으며, 신갈나무는 거의 존재하지 않는 것으로 조사되어 현존식생도와 현지조사와는 많은 차이가 있는 것으로 조사되었다(표 IV-22 참조).

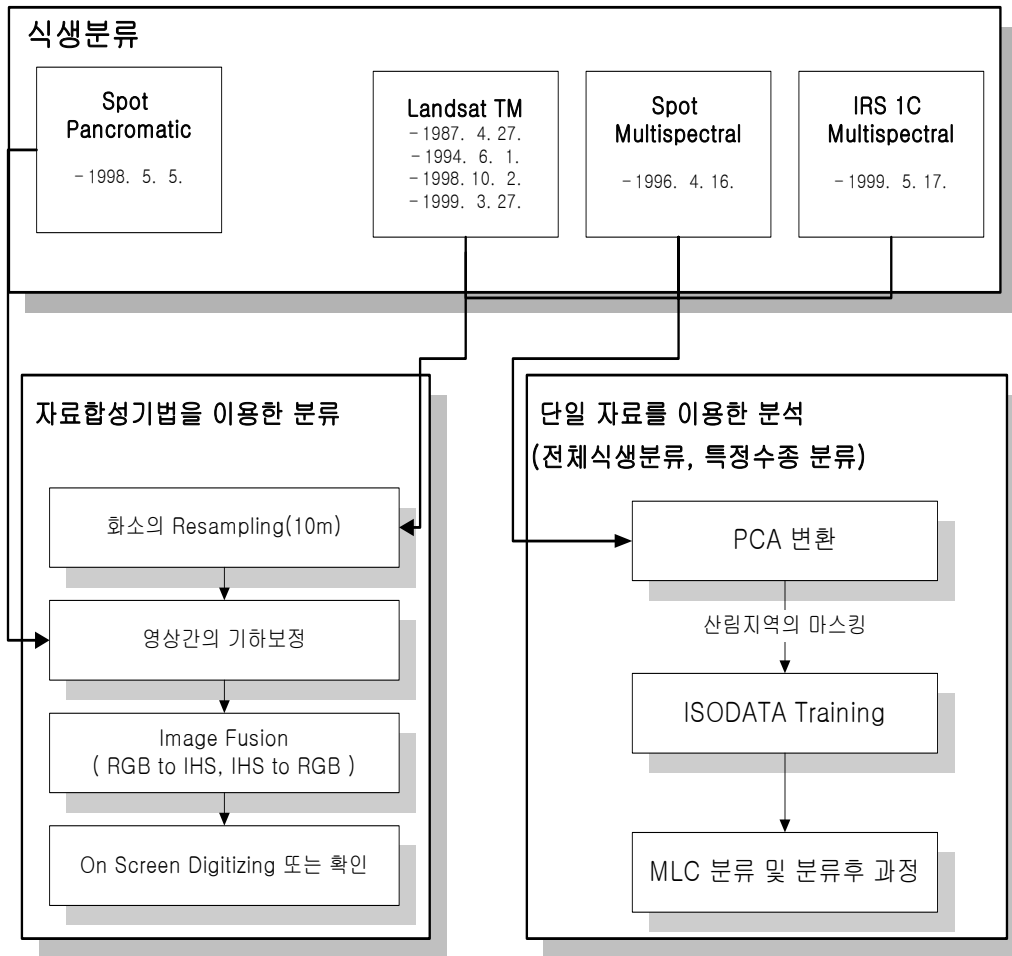
< 표 IV-22 > 4번지역의 층위별 우점치

| | | | |
|------|-----|-------------|------|
| 교목층 | 수종명 | 리 기 다 소 나 무 | 82 |
| | | 밤 나 무 | 9 |
| | | 굴 참 나 무 | 9 |
| 아교목층 | 수종명 | 노 간 주 나 무 | 20 |
| | | 밤 나 무 | 20 |
| | | 산 벗 나 무 | 20 |
| | | 물 오 리 나 무 | 20 |
| | | 물 박 달 나 무 | 20 |
| 관목층 | 수종명 | 아 까 시 나 무 | 15.4 |
| | | 신 갈 나 무 | 30.7 |
| | | 참 싸 리 | 15.4 |
| | | 난티잎개암나무 | 23.1 |
| | | 떡 갈 나 무 | 15.4 |

4.2.2. 식생분류

세부적으로 식생을 분류하고 위성자료별 식생분류의 가능성과 한계성을 분석하기 위하여,

단일 자료를 이용한 분석과 자료합성을 이용한 분류를 수행하였다. 식생분류를 위해 각 위성 자료들을 PCA분석을 행한 후 각각의 이미지자료를 만들고, 이들을 최대우도분류기법(MLC : Maximum Likelihood Classification)기법을 이용하여 무감독기법으로 분류를 수행하였다. 현재 우리 나라에서 상용으로 활용가능한 자료들은 Landsat TM, Spot Multispectral, IRS 1C Multispectral, Spot Panchromatic 등으로 이들 자료의 이용상의 가능성과 한계에 대하여 심층적으로 분석을 수행하였다. 이를 개념도로 나타내면 다음 그림과 같다.



< 그림 IV-38 > 식생분류흐름도

심층분석 대상지역의 현존식생을 분석하면, < 표 IV-23 >과 같이 신갈나무군락이 전체면적의 약 35%를 차지하고 있으며, 굴참나무군락이 16.23%, 잣나무군락이 17.64%, 리기다소나무군락이 12.37%, 소나무군락이 5.73%로 이들의 전체면적의 약 87%를 차지하고 있으며, 나머지 식생군락은 대부분 5%이하로 매우 적은 면적을 차지하고 있다.

따라서 본 분석에서는 주요한 7가지의 군락과 기타의 1개를 추가하여 8개의 군락으로 분류를 수행하였으며, 완벽한 참조자료가 존재하지 않음으로 전체적인 정확도를 산정하는 것은 의미가 없으므로 산출하지 않았다.

< 표 IV-23 > 연구대상지역의 현존식생

| 생활형 | 식생군락 | 명 | 면적비(%) | No. |
|--------|------|-------------|--------|-----|
| 낙엽활엽수림 | A0 | 신갈나무군락 | 35.35 | 1 |
| 낙엽활엽수림 | C0 | 굴참나무군락 | 16.23 | 4 |
| 낙엽활엽수림 | E0 | 상수리나무군락 | 3.2 | 7 |
| 낙엽활엽수림 | E3 | 상수리-소나무군락 | 0.1 | 8 |
| 식재림 | B0 | 아까시나무군락 | 0.26 | 13 |
| 식재림 | F0 | 잣나무군락 | 17.64 | 15 |
| 식재림 | G0 | 일본잎갈나무군락 | 5.02 | 16 |
| 식재림 | H0 | 리기다소나무군락 | 12.37 | 17 |
| 침엽수림 | A0 | 소나무군락 | 5.73 | 18 |
| 침엽수림 | A1 | 소나무-신갈나무군락 | 1.46 | 19 |
| 침엽수림 | A3 | 소나무-굴참나무군락 | 0.86 | 20 |
| 침엽수림 | A5 | 소나무-상수리나무군락 | 1.95 | 22 |

자료 : 환경처, 현존식생도

위성영상에서 식생 현황을 파악하기 위하여 PCA 변환된 위성영상을 무감독 분류에 의하여 분류 하였다. 영상간의 비교를 위해 한정된 수의 분류 항목으로 분류를 실시하고 결과는 현존식생도의 식생항목과 비교하였다.

분류에서 사용된 무감독 분류방법은 IA에서 가장 정교한 Training방법인 Competitive Training과 Isodata 법을 이용하였다. 샘플링되는 자료의 수는 전체영상 화소의 50%이고 면적비 5~10% 미만인 분류항목의 생성을 억제하였다. 군집화 방법으로는 모든 영상에 동일하게 IA의 Para-MLC 방법을 이용하였고 임계치(Threshold Value)는 95%를 사용하였다.

4.2.2.1. 동일 위성자료의 시기별 식생분류

Landsat TM 자료는 우리 나라에서 가장 많이 사용되고 있는 광역위성자료로 자료의 지상분해능은 30m이다. 본 분석에선 초봄(1997년 3월 27일), 봄(1987년 4월 27일), 초여름(1994년 6월 1일), 가을(1998년 10월 2일)의 영상자료를 활용하여 식생분류를 수행하였다. < 그림 IV-39 >는 Landsat TM의 계절별 자료를 같은 분석방법론으로 분류한 것으로 분석결과와 가능성과 한계성을 제시하면 다음과 같이 요약될 수 있다.

첫째, 3월과 4월, 10월의 영상은 군락의 크기가 비교적 크며, 현존식생도와 같은 분류패턴을 보이고 있다. 다만, 현존식생도는 조사자의 시각에 의존하여 군락의 경계를 설정한 것으로 그 내부의 작은 군락들의 정보는 누락되어있다. 그러나 위성영상자료를 이용한 분석결과, 항목별 큰 패턴은 현존식생도와 비슷하나, 그 내부에는 작은 군락들이 많이 포함되어 있는 것으로 보인다.

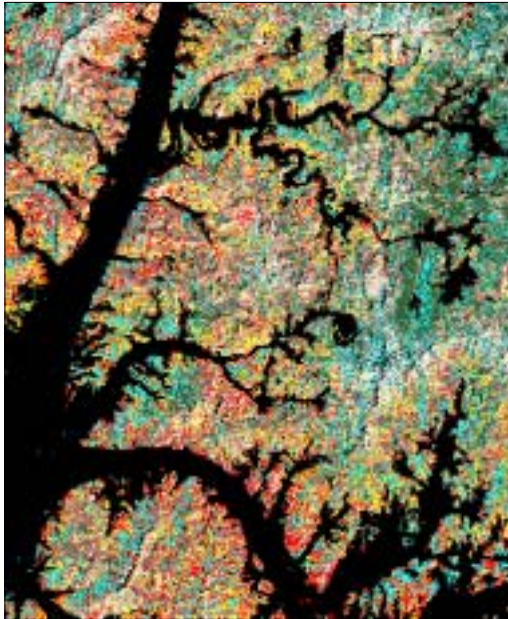
둘째, Landsat TM 자료를 이용하여 현존식생도를 개선할 경우 계절적으로는 잎이 나오는 봄과 낙엽이 지기 시작하는 가을이 적합한 것으로 보인다. 6월과 같이 잎이 무성하게 나온 계절의 영상의 분류는 침엽수림, 활엽수림, 혼료림등의 대단위도 분류가 곤란한 것으로 판단된다.

셋째, 향후 현존식생도를 개선하는 작업을 수행할 시 인공위성영상자료를 이용하여 침엽수, 활엽수, 혼료림의 큰 경계를 먼저 설정한 후 군락개념의 식생분류도를 작성하는 순서를

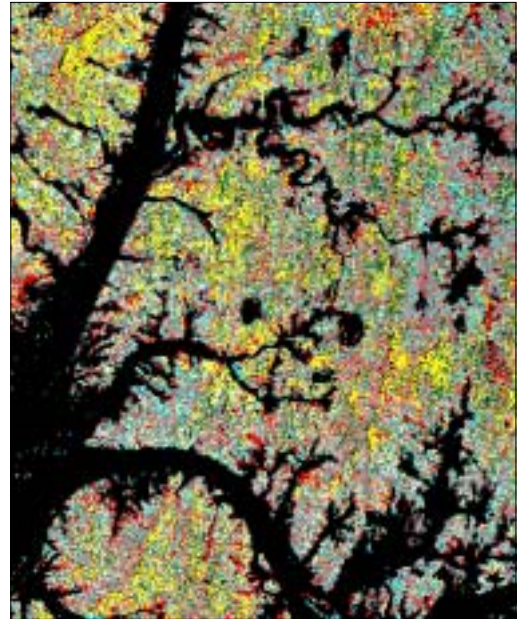
따라가는 것이 바람직할 것이다. 이는 양평군 전체의 토지피복분류시에 결과물로 제시한 것에서 그 사용가능성을 제시하였다.

넷째, 특정수종의 위치도를 제작할 경우에는 그 수종의 잎이 나오는 시기와 잎이 지는 시기의 특성을 반영하여 위성자료의 시기를 선정하는 것이 필요할 것이다.

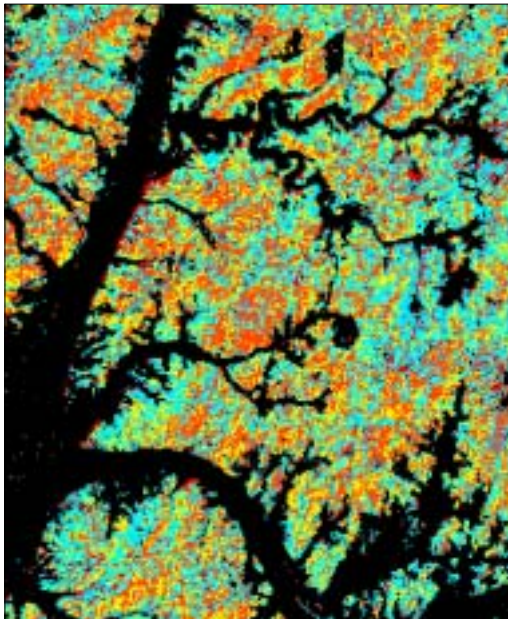
넷째, 향후 보급될 고해상도 위성자료는 흑백의 경우 공간해상도가, 약 1m 내외이고, 다중분광영상의 경우에는 공간해상도가 4m 내외로 특정수종의 정확한 위치까지도 분류 및 분석이 가능할 것으로 예상된다.



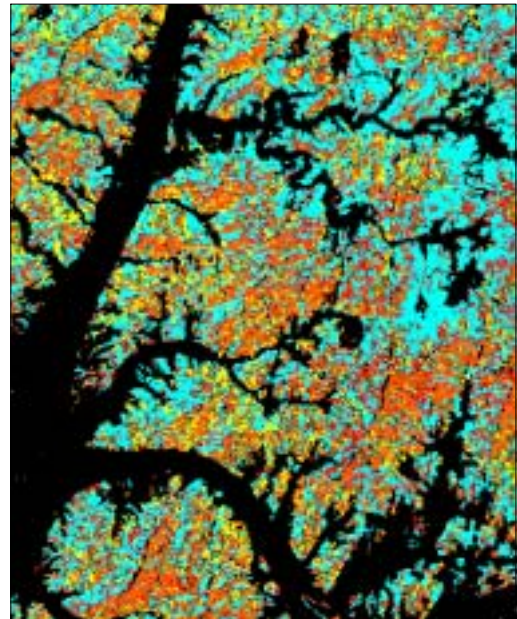
< 87. 4. 27 영상 >



< 94. 6. 1 영상 >



< 98. 10. 2 영상 >



< 99. 3. 27 영상 >

< 그림 IV-39 > Landsat TM 영상의 월별 분류 결과

주 : 지형정규화 수정, 무감독분류 8개 등급 분류

4.2.2.2. 다른 위성자료의 유사 시기별 식생분류

아래의 < 그림 IV-40 >은 위성자료별 특성을 비교한 것으로 Landsat TM(99.3.27), Spot Multi-spectral(96.4.16), IRS 1C Multi-spectral(99.5.17)일의 위성자료를 같은 분류방법론을 활용하여 분류한 것이다. 분류결과와 현존식생도를 비교하여 침엽수림은 청색 계열로 지정하고, 활엽수림은 붉은 색 계열로 지정하여 같은 군락간에 비교를 용이하도록 하였다. 분석결과의 가능성과 한계성을 요약하면 다음과 같다.

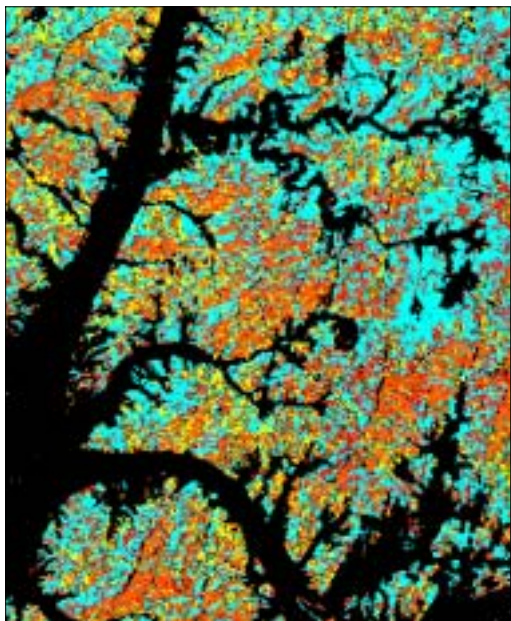
첫째, Landsat, Spot, IRS의 분류결과에서 볼 수 있듯이 다른 위성자료라 할 지라도 같은 분류방법론에 따라 거의 유사한 결과를 보여주고 있다. 이에는 각 위성자료별로 유사한 분광대를 보유하고 있기 때문이다(표 IV-24 참조).

< 표 IV-24 > 위성자료별 분광대

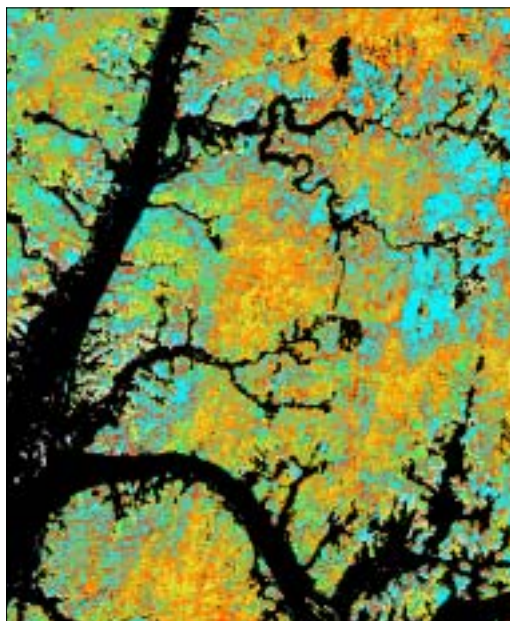
| Spot Multi-Spectral | Landsat Thematic Mapper | IRS 1C LISS |
|---------------------|-------------------------|---------------------|
| | 0.45 ~ 0.53 μ m | |
| 0.50 ~ 0.59 μ m | 0.52 ~ 0.60 μ m | 0.52 ~ 0.59 μ m |
| 0.61 ~ 0.68 μ m | 0.63 ~ 0.69 μ m | 0.62 ~ 0.68 μ m |
| 0.79 ~ 0.89 μ m | 0.76 ~ 0.90 μ m | 0.77 ~ 0.86 μ m |
| | 1.55 ~ 1.75 μ m | 1.55 ~ 1.70 μ m |
| | 10.40 ~ 12.50 μ m | |
| | 2.08 ~ 2.35 μ m | |

둘째, Landsat TM(30m), Spot Multi-spectral(20m), IRS 1C Multi-spectral(25m)자료의 공간해상도에 따라 군락의 크기가 조금씩 다른 특징이 있다. 일례로 Landsat TM자료와 IRS 1C Multi-spectral의 분류결과는 공간해상도가 유사하여 같은 형태의 분류결과를 보이는데 반해, SPOT의 결과는 좀더 세분된 형태를 보이고 있다.

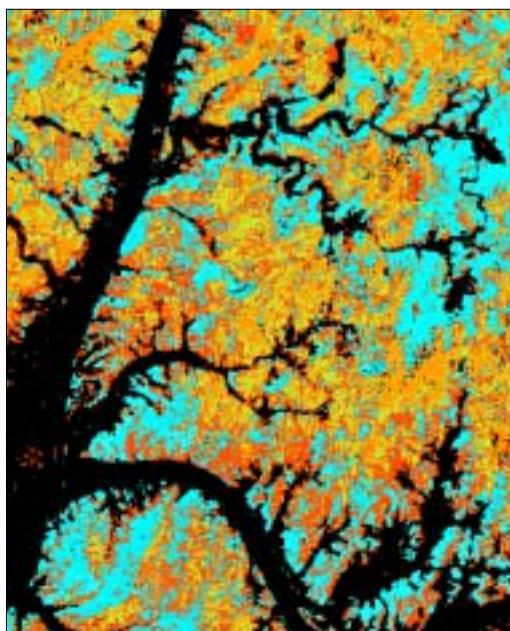
셋째, 따라서 위성자료별로 분류능력 차이는 없으며, 위성자료의 시기가 가장 중요한 인자라는 점을 파악할 수 있다. 다만 대상지역의 크기와 공간해상도의 차이에 따라 위성자료를 선택할 필요가 있다. 이와 같은 점에서 전국의 식생분류도를 침엽수림, 활엽수림, 혼효림의 3단계로 구축할 경우, 경제적인 위성자료는 Landsat TM 자료이며, 다음으로는 IRS 1C Multi-spectral 자료이다.



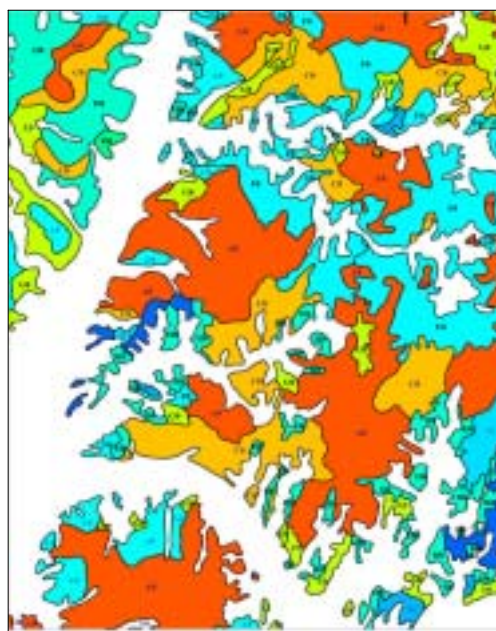
< Landsat 99. 3. 27 영상 >



< Spot 96. 4. 16 영상 >



< IRS 99. 5. 17 영상 >



< 1:2,5000 현존식생도 >

< 그림 IV-40 > 위성체별 영상의 무감독 분류 결과

주 : 현존식생도; 적색계열-활엽수림, 청색계열-침엽수림 지역

4.2.2.3. 위성자료의 합성을 통한 식생분류

전항에서는 위성자료의 시기별 종류별 식생분류가능성과 한계에 대하여 고찰하였으며, 본항에서는 다른 위성자료간의 합성을 통하여 식생을 분류하는 것에 대하여 고찰하였다.

본 연구에서 사용된 자료는 Spot의 Panchromatic 자료와 Landsat TM를 합성한 것으로 가능한 두가지 자료의 시기를 근접시키는 것이 중요하다. 그러나 본 분석에서는 위성자료가 부족하여 1987년 4월 27일의 Landsat TM 자료와 1998년 4월5일의 영상을 합성하였다.

두 영상자료를 합성할 때 가장 중요한 점은 두 자료간의 기하학적인 오차정도이며, 가능한 한 0.5화소 이내로 오차의 범위를 줄이는 것이 필수적이다.

이와 같은 방법으로 영상자료를 합성한 후 현존식생도를 중첩하여 식생경계선의 정확도와 군집내부의 균질성을 검증할 수 있다. < 그림 IV-41 > 의 (a)는 band 4, band 3, band1을 red, green, blue값을 적용하여 컬러합성을 한 것이며, (b)는 (a)의 RGB합성을 IHS합성으로 변환한후, 명암(I:Intensity)대신에 Spot의 Panchromatic값으로 대치하여 컬러합성한 것이다.

합성한 결과와 합성하지 않은 결과를 비교하면, 차이점은 다음과 같다.

첫째, Spot Panchromatic 밴드의 공간해상도인 10m로 인해 Landsat TM의 자료의 해상도를 10m로 낮출 수 있었다.

둘째, 아래의 그림 (c)와 (d)의 비교에서 알 수 있듯이 (c)에는 공간해상도가 30m이므로 영상의 선명성이 떨어지나, 합성된 영상은 Landsat의 컬러정보와 Spot의 명암정보를 통합할 수 있으므로 보다 선명한 영상정보를 얻을 수 있었다.

셋째, 얻어진 합성영상정보에서는 기존의 식생군집경계와 부합되는 지역과, 부합되지 않는 지역을 손쉽게 확인할 수 있다. 또한 특정시기의 계절자료를 활용할 경우 침엽수림, 활엽수림, 혼효림의 경우는 명확한 경계자료를 보여주고 있어, 시각적인 색감과 질감만으로도 정확한 분류가 가능한 장점을 가지고 있다.

넷째, 합성된 위성자료결과물과 현존식생도경계를 현장조사시 활용한다면, 조사의 기간을 상당기간 감축시킬 수 있을 것이며, 경계선의 확정시에도 많은 효용성을 제고할 수 있어 정확도의 향상에도 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

다섯째, 시각적인 분류방법으로 분류를 수행할 경우 수작업시 발생하는 오차와 시간이 많이 소요된다는 단점이 있다.



(a) Landsat 87년 영상

(b) Fusion된 합성영상



(c) Landsat 87년 영상 부분확대

(d) Fusion된 합성영상 부분확대

< 그림 IV-41 > 자료합성 기법을 이용한 분류

주 : Landsat TM(1987. 4. 27.) , Spot pan(1998. 5. 5.)

4.2.2.4. 잣나무 군락에 대한 식생분류

원격탐사는 상세한 지도와 속성자료를 생산하여 우리가 산림지역의 이해 능력을 크게 높였다. 그러나 원격탐사가 발달된 미국에서도 위성자료를 이용해서 Anderson Level 2 (침엽수/활엽수/혼효림) 수준 이상의 온대지방의 활엽, 혼효림 지도를 생산하는 문헌이나 연구는 거의 없다. 낮은 축척의 산림에 대하여는 많은 연구들이 수행되었으나 이렇게 생산된 지역적으로 일반화된 토지피복은 속성과 공간 해상도가 너무 커서 높은 지도 축척을 요구하는 지역

산림 연구자나 자원 관리자들에게 적절한 정보를 제공할 수 없었다.

일부 연구자들은 단지 일반화된 Anderson Level 2까지의 구분만이 수행되어 있는 지역에 대하여 다중시기의 원격탐사 영상을 이용한 상세한 산림피복의 적절한 추정방법에 대한 연구를 수행하고 있다. 이들은 최근 계층적 접근 방법으로 자연현상의 변화정보를 이용하여 수종 단위까지의 산림항목들을 분류해 내었다. 예를 들면, Slaymaker et al.(1995)는 뉴잉글랜드 지역의 산림에 대해 위성측위시스템(Global Positioning System)과 참조 비디오 영상을 이용하여 여름과 가을의 Landsat TM 영상을 계절에 따라 순차적으로 균집화하고 Anderson Level 3, 4 단위까지 총 30개 산림단위의 상세한 등급을 구분하였다.

우리나라의 경우, 생태·자연도 작성 등 산림에 대한 수종별 분류 요구가 높아지고 있으나 시간과 비용면에서 효율적인 방법은 제시되고 있지 못하고 있다. 단지 현장방문을 통한 직접 조사방법으로 제작된 현존식생도에서 수종별 분류가 이루어진 1:50,000 축척의 지도가 제공되고 있다. 우리 나라의 산림의 특성은 외국의 경우와는 그 크기와 구조면에서 많은 차이를 나타낸다. 이러한 지역적 특성으로 인해 수종별 분류를 위해 고해상도 위성자료, 항공사진과 현지 방문 조사 등 많은 자료량과 조사시간이 필요하다. 이러한 한계를 극복하기 위하여 일반적으로 많이 이용되고 있는 Landsat TM영상을 이용한 수종별 구분 가능성을 조사할 필요성이 있다. 따라서 본 장에서는 현존식생도를 참조자료로 Landsat TM 자료의 수종분류 가능성을 평가하였다.

4.2.2.4.1. 작업방법

위성영상을 이용한 수종별 분류 가능성을 파악하기 위하여 잣나무 군락을 연구대상으로 하였다. 잣나무 군락은 연구지역의 현존식생도에서 17.64%의 면적을 차지하여 두 번째로 우세한 군락이며 대부분 식재림으로 구성되어 있다. 분류는 Landsat TM 1987년 4월 27일 봄 영상과 겨울철 영상으로 침엽수와 활엽수의 구분이 명확한 1999년 3월 27일 영상을 이용하였다. 분류 후 수종간의 분류 혼동성을 검토하기 위해 현존식생도 침엽수림중 면적비가 높은 리기다 소나무군락(12.37%)과 소나무군락(5.73%)이 이용되었다.

(1) 원영상의 처리

각 시기의 위성영상은 대기의 산란 등의 오차를 보정하기 위해 bulk correction을 실시하였다. 우리 나라와 같이 지형의 기복이 심한 지형에서의 그림자로 인한 효과를 최소화하기 위해 촬영 당시 태양 방위각과 고도각을 이용한 지형정규화 기법이 적용되었다. 최종적으로 분류에 이용되는 영상은 Landsat TM으로 영상정보를 효과적으로 집약하여, 식생의 정보를 분석에 활용할 수 있도록 주성분분석(Principal Component Analysis)을 통해 생성된 1~7번 밴드를 이용하였다.

(2) Training 지점의 결정

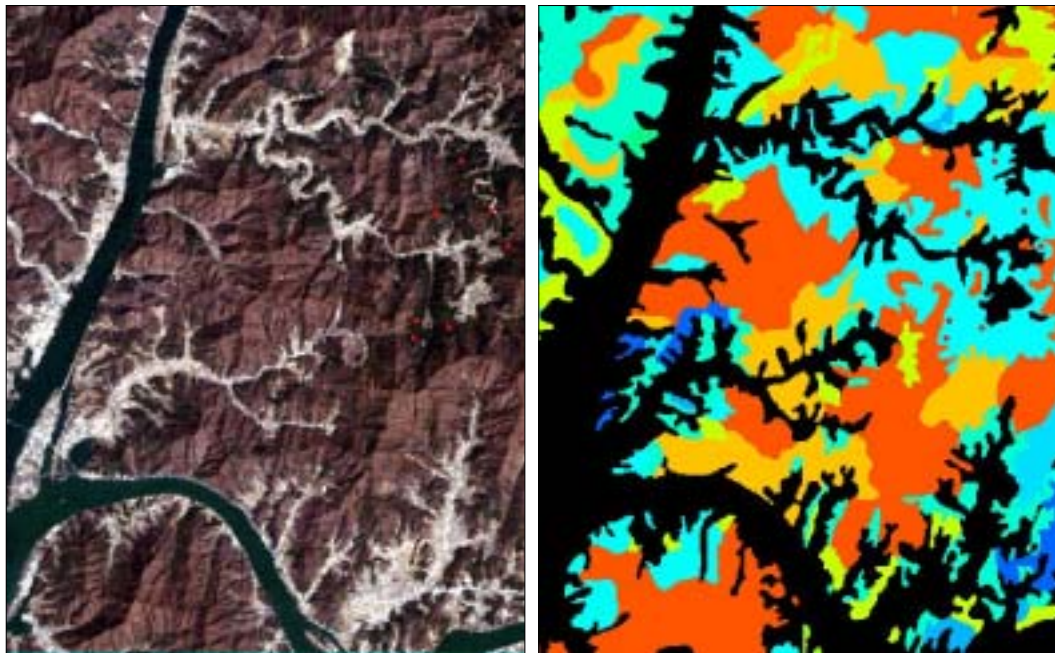
Training 지역은 현존식생도에서 잣나무 군락으로 표시된 부분 중 1999년 3월 영상에서 침엽수로 확연히 구분되는 14개 지점을 선택하였다. 그러나, Maximum-likelihood 균집방법

의 기본 가정인 자료의 정규분포성질을 만족시키는 기준을 검토한 결과 표본의 자료분포형태가 정규분포성질을 가지는 7개지점만이 최종적인 표본 추출지역으로 선정되었다.

< 그림 IV-42 >는 Training을 위한 표본 추출지역의 위치를 나타낸 그림이다. 표본으로 추출된 지역은 현존식생도상에서 잣나무 군락으로 표시된 지역으로 위성영상자료에서 확인했을 때 색감의 균질성이 뛰어난 지역을 주로 선정했다.

Training지점에서 표본으로 사용되는 화소들의 선택은 표준편차를 이용한 통계적 기법이 이용되었다.

< 그림 IV-43 >은 Training시 이용되는 화소 변화가 분류결과에 미치는 영향을 나타낸 것이다. Training을 위해 선택된 화소들은 표본추출 지점주위 7×7 행렬 내에서 일정한 밝기값 (선택지점 밝기값± α ×표준편차 ($\alpha=1.5, 2.0, 2.5$))범위를 가지는 것들이 선택되었다. 군집화는 현존식생도내의 면적백분율을 선행확률로 한 Maximum-likelihood 방법이 이용되었다.



(a) 1999년 3월 27일 천연색 위성영상 (b) 연구대상지역의 현존식생도

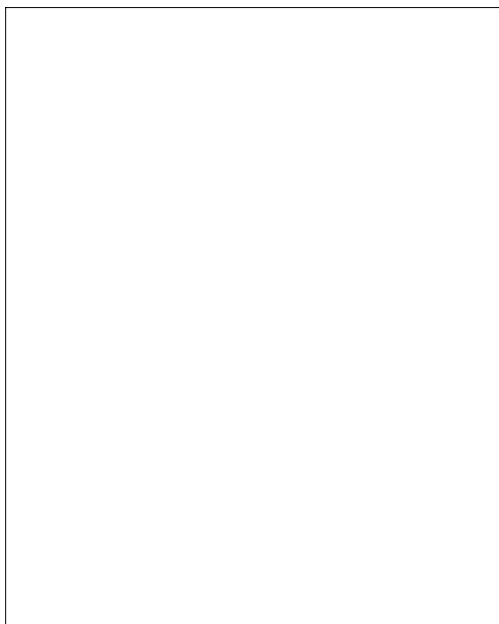
< 그림 IV-42 > 잣나무군락의 분류에 이용된 Training 지역 위치

주: 왼쪽그림의 붉은 색 점은 Training 지점의 위치임.

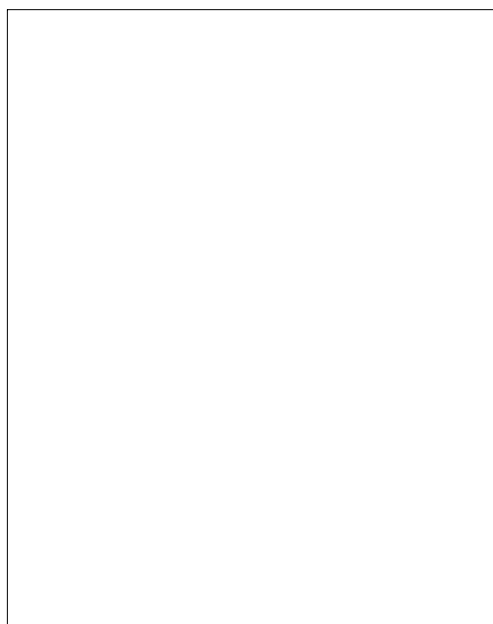
< 그림 IV-43 >의 (d)는 연구지역 현존식생도 내에서 잣나무 군락의 위치를 나타낸 그림으로 Training시 이용되는 화소 변화에 따른 분류결과와 비교하기 위한 참조자료로 이용되었다. 각 분류결과들에서 잣나무군락 위치는 침엽수 분포형태와 유사하게 나타났다. 이들 중 잣나무군락의 위치를 가장 잘 나타낸다고 생각되는 (b) $\alpha = 2.0$ 일 경우를 모든 분류에서 Training 화소 수집방법으로 선택하였다.

< 그림 IV-43 >에서 Training에 이용되는 화소들의 편차가 증가할수록 분류결과의 면적

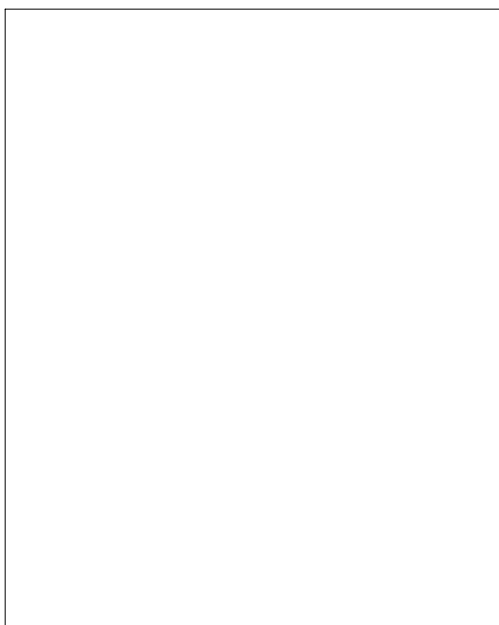
이 증가하며 다른 수종과의 혼동성이 증가하는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서는 Training의 기준을 엄격히 하여 순수한 잣나무 군락을 대상으로 분류를 수행하였다. 이와 같이 위성영상자료들은 대기중과 주변지역의 빛의 산란 등 여러 가지 외부 환경에 따라 분광특성이 차이가 나므로 각각의 위성영상자료 및 촬영시기에 따라 이와 같은 방법에 따라 Training의 방법에 따른 민감성을 분석하여야 할 것이다.



(a) $\alpha = 1.5$ 일 경우



(b) $\alpha = 2$ 일 경우



(c) $\alpha = 2.5$ 일 경우



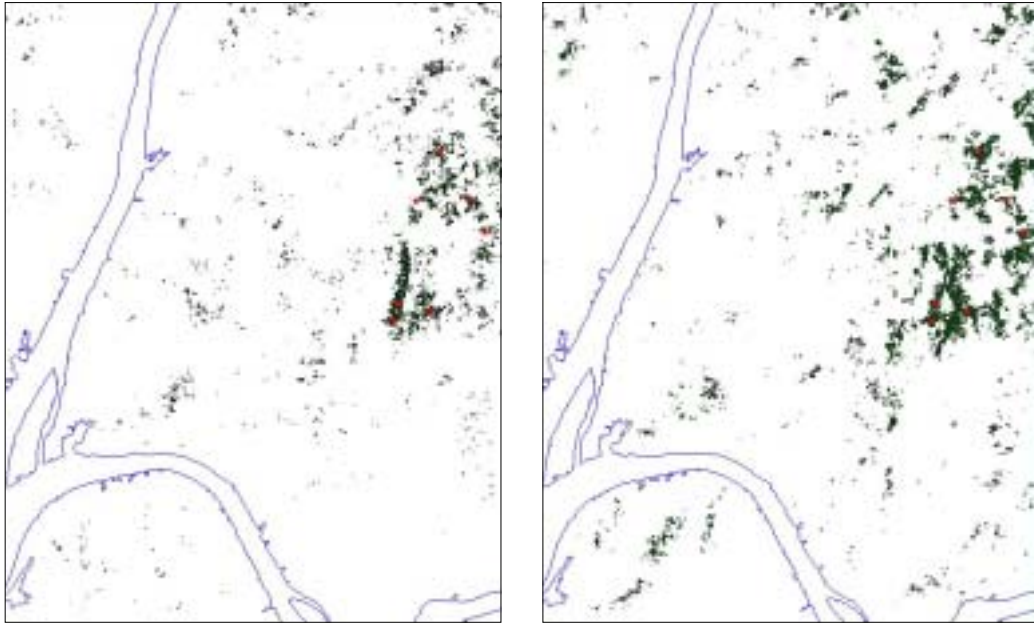
(d) 현존식생도 잣나무군락의 위치

< 그림 IV-43 > Training시 이용되는 화소 변화가 분류결과에 미치는 영향
(1987년 4월 27일 Landsat TM영상)

4.3.3.4.2. 잣나무군락의 분류결과와 현존식생도 비교

(1) 계절변화에 따른 군락의 변화

계절변화에 따른 잣나무군락의 변화를 확인하기 위하여 1987년 4월 27일 영상과 1999년 3월 27일 영상에 대해 분류를 실시하였다. < 그림 IV-44 >는 동일한 Training 지역을 이용하였을 경우, Landsat TM 영상을 이용한 잣나무군락의 계절별 변화 형태를 나타낸 것이다.



(a) 1987년 4월 27일 영상

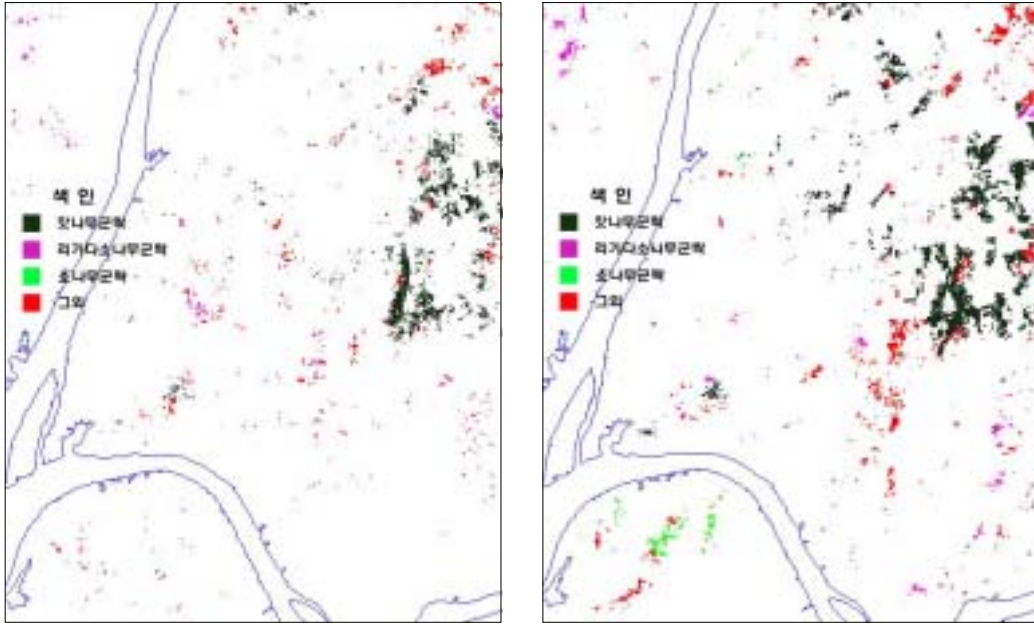
(b) 1997년 3월 27일 영상

< 그림 IV-44 > Landsat TM 영상을 이용한 계절별 잣나무군락의 분류결과

< 그림 IV-44 >에서 동일한 분류계수들을 적용하였을 경우, 잣나무 우점지역은 동일하게 나타나나 전체적으로 1997년 3월27일 영상의 잣나무군락 범위가 증가한다는 것을 알 수 있다. 1987년 4월 27일 영상에 비해 1997년 3월 27일의 경우, 침엽수림과 활엽수림 지역의 분광특성이 뚜렷이 구분되어 상대적으로 분광특성 구분이 어려운 침엽수 군락간의 혼동이 나타난다. 그리고 봄 영상인 1987년 영상에 적용한 분류계수를 겨울영상에 동일하게 적용함으로써 이러한 침엽수 군락간의 혼동성을 적절히 수정하지 못하여 발생하는 현상으로 판단된다. 이를 보완하기 위해 정밀한 GPS 장비를 이용하여 분광특성이 균질한 Training 지점의 정확한 선정과 계절에 따른 현장의 식생변화를 판단할 수 있는 속성정보가 필요하다.

(2) 잣나무군락의 현존식생도 수종간의 혼동성

잣나무군락의 분류결과를 현존식생도와 비교하기 위해 중첩연산을 실시하였으며, 분류 시 잣나무군락으로 나타나는 현존식생도의 군락항목을 조사하였다. < 그림 IV-45 >는 위성영상을 이용한 잣나무군락 분류결과와 현존식생도 수종이 차이를 보이는 지역을 나타낸 것이다. 비교 대상 수종으로 침엽수인 리기다소나무 군락, 소나무 군락과 주로 활엽수인 그 외 수종을 대상으로 분류결과와 현존식생도가 차이를 보이는 부분이다.



(a) 1987년 4월 27일

(b) 1999년 3월 27일

< 그림 IV-45 > 잣나무군락의 분류결과와 현존식생도 항목간의 비교

< 표 IV-25 >는 잣나무군락의 수종별 분류 혼동성을 나타낸 것으로 위성영상을 이용한 잣나무군락 분류결과와 현존식생도의 수종항목간에 불일치가 발생하는 지역의 면적 백분율을 표시한 것이다.

< 표 IV-25 > 잣나무군락의 수종별 분류 혼동성

| 현존식생도항목 | 1987년 4월 27일 영상 | | | 1999년 3월 27일 영상 | | |
|---------|-----------------|--------|--------|-----------------|--------|--------|
| | 화소수 | % | 누적% | 화소수 | % | 누적% |
| 잣 나무 | 2,379 | 60.86 | 60.86 | 4,384 | 58.48 | 58.48 |
| 리기다소나무 | 254 | 6.50 | 67.36 | 557 | 7.43 | 65.91 |
| 소 나무 | 17 | 0.43 | 67.79 | 229 | 3.05 | 68.96 |
| 기타수종 | 1,259 | 32.21 | 100.00 | 2,327 | 31.04 | 100.00 |
| 합 계 | 3,909 | 100.00 | - | 7,497 | 100.00 | - |

< 표 IV-25 >에서 두 시기의 분류결과 모두에서 현존식생도와 가장 큰 차이를 보이는 수종은 주로 활엽수림 지역인 기타 항목이었다. 위성영상을 육안으로 확인한 결과 현존식생도의 활엽수 군락 내부에는 넓은 면적의 침엽수림지역이 존재하였고 현존식생도의 군락 범위가 실제와는 부합되지 않음으로 인해 분류 혼동성이 크게 나타난 것으로 판단된다. 현존식생도의 침엽수 지역인 리기다소나무 군락과 소나무군락이 잣나무 군락으로 분류된 지역은 리기다소나무의 경우 분류결과의 6.5 ~ 7.5%, 소나무의 경우 0.43 ~ 3.05%로 활엽수림 지역에 비해 낮게 나타났다. 따라서 현존식생도의 활엽수림지역 내의 침엽수지역이 분류결과에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

4.2.2.3. 위성영상을 이용한 수종별 분류가능성

위성영상을 이용한 분류 결과와 현존식생도 수종항목간의 비교를 통해 우리나라 산림 지역의 수종별 분류를 위해 다음과 같이 제안한다.

첫째, 위성영상의 촬영시기는 산림의 분포형태와 면적에 큰 영향을 미친다. 따라서 다중 시기 영상을 이용한 계층적 접근 방식이 필요시 된다.

둘째, 지상참조자료의 선택은 분류결과의 정확성을 좌우하게 된다. 정확한 지상참조자료를 얻기위해 위성측위시스템(GPS)이 필요하다. 위성측위시스템은 현장에서 기록되는 산림패턴과 자연현상의 변화 과정에 대한 정보를 다중 시기, 다중 원천의 디지털 자료들에서 생성된 정보와 연결하는 정교하고도 비용면에서 효율적인 지상참조방법을 제공할 수 있다.

셋째, 정밀한 수종간 경계선의 추출을 위해서 항공사진이나 고해상도 위성의 공간 정보와 질감을 이용하여야 한다. 이 경우 자연의 공간적, 광학적 패턴의 분석범위를 더욱 완벽한 4차원공간(X, Y, Z(높이), T(시간))으로 확장시킬 수 있고 침엽수와 혼효림에 대한 공간적, 광학적 질감 정보는 지도의 분류정확도의 큰 향상을 가져올 수 있다.

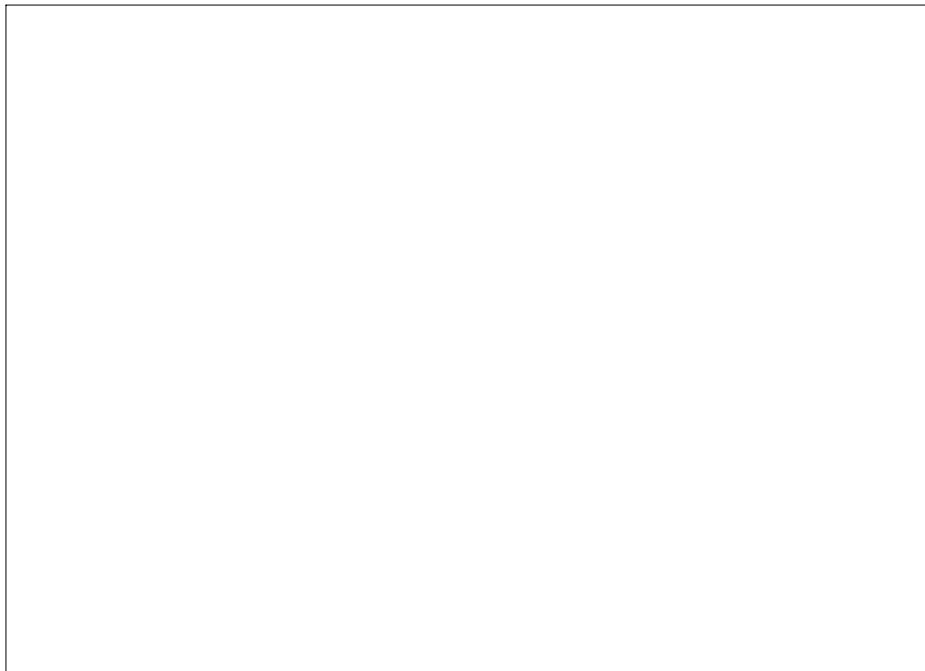
넷째, 조사지역에 대한 지리적, 생물학적인 다양한 참조자료가 필요하다. 특정 수종의 토양, 고도, 경사와 경사방향에 대한 반응 패턴 정보와 생물지리적 정보의 연계는 많은 지역에서 식생 지도의 제작 향상에 대한 보편적으로 이용 가능한 방법이 될 수 있다.

4.2.3. 식생지수

4.2.3.1. 정규식생지수(NDVI)의 한계성

정규식생지수(NDVI)는 원격탐사를 이용한 식생의 조사에서 가장 흔히 사용되는 방법이다. NDVI는 Landsat TM에서는 4번 근적외 채널과 3번 적색 채널을 이용하여 산출된다.

통상적으로 이러한 다중분광 자료는 Cartesian 광학공간의 Cartesian 좌표계를 사용한다.



< 그림 IV-46 > Cartesian 공간의 NDVI

< 그림 IV-46 >는 Landsat TM의 3번과 4번 밴드를 Cartesian 좌표계상에서 시계반대방향을 45°회전시킨 그림이다. < 그림 IV-42 >에서 좌표축은 $Ch4-Ch3=0$, $Ch4+Ch3=0$ 이 되며, 각 자료점(data points)은 (a,b)와 같이 표현된다.

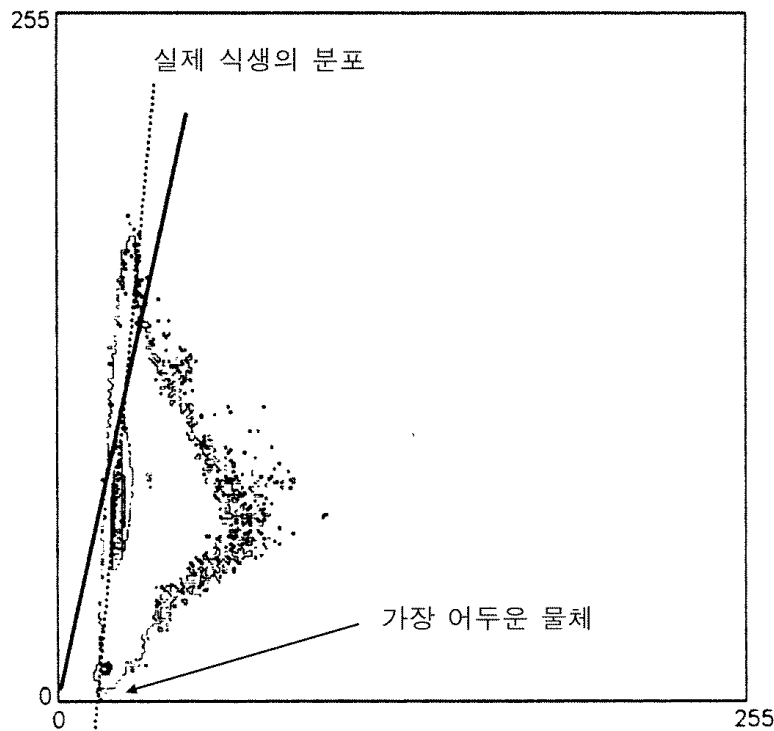
< 그림 IV-46 >에서 $a\sqrt{2} = (D_4 - D_3)$, $b\sqrt{2} = (D_4 + D_3)$ 이며, D_4 와 D_3 는 자

료점 D ($D_3^2 + D_4^2 = a^2 + b^2$)의 광학요소이다.

그러나, NDVI의 산출식에서 분자와 같이, 분자는 선($Ch4-Ch3=0$)으로부터 선($Ch4-Ch3=a$)의 거리와 일치하고, 분모는 선($Ch4+Ch3=0$)으로부터 선($Ch4+Ch3=b$)까지의 거리와 일치하게 된다. 그러므로, NDVI는 광학공간의 원점 0, 자료점 D, 그리고 대각선

($Ch4-Ch3=0$) 사이의 각($\angle\theta$)의 탄젠트가 된다. 즉, 직선OD 선상에 존재하는 모든 자료점은

동일한 NDVI를 갖게 된다. 그러나 궁극적인 문제점은 TM Ch4와 Ch3의 scatter plot이 이론과 일치하지 않다는데 있다. Scatter plot상에서 식생은 직선 상에 분포를 보이거나 광학공간의 원점0와 교차하지 않고 scatter plot 상에서 수역과 같이 가장 어두운 물체와 교차하게 된다는 것이 문제점으로 지적되고 있다(그림 IV-47).



< 그림 IV-47 > TM Ch4와 Ch3의 Scatter Plot상의 식생의 분포

NDVI의 또 하나의 문제점은 계절적 변화, 태양조도의 변화방사, 또는 대기상태의 변화와 같은 방사특성의 변화에 따른 안정성이 결여된다는 점이다.

아래의 < 식 IV-1 >은 센서에서 감지되는 에너지 D를 대략적으로 보여주고 있다.

$$D = \alpha IR + \beta \quad (\text{식 IV-1})$$

α 는 태양으로부터 지표상의 대상물체까지 전달되는 경로 및 대상물체로부터 센서까지 전달되는 경로에서 대기에 의하여 감쇠되는 에너지를 산출하는 대기감쇠계수(atmospheric attenuation coefficient)이다. I는 지구까지 전달되는 태양의 조명강도(intensity of sun illumination)를 의미하며, R은 대상물체의 반사값을 의미한다. β 는 경로의 광휘도(path radiance)의 영향이다. β 는 대기의 상태(수증기, 구름, 연무질, 먼지의 양 등)에 대단히 많은 영향을 받으며 때와 장소에 따라 변화가 급격하다.

그러므로, 이러한 대기상태에 따른 급격한 변화를 고려할 때, NDVI 산출식의 분모는 두 광학밴드를 포함하므로 식생의 시간적·계절적 변화를 조사하기에는 충분한 안정성을 보장하지 못하게 된다는 문제점이 지적되고 있으며, 현재까지 연구된 대기보정(atmospheric correction)방법으로는 정확한 식생의 상태를 파악하는데 매우 큰 어려움을 가지고 있다는 점이 NDVI의 문제점으로 지적되고 있다.

4.2.3.2. 문제점에 대한 대안

Iisaka와 Sakurai-Amano(1999)는 위에서 언급한 NDVI의 문제점을 보완하기 Modified Vegetaion Index(MODVI)를 제안하였다. MODVI의 산출식은 다음과 같다.

$$MODVI = \frac{(Ch4 - W_4)}{(Ch3 - W_3)} \quad (\text{식 IV-2})$$

MODVI는 Ch4와 Ch3에서 가장 어두운 물체의 값을 제외하여 산출한다. 여기서 가장 어두운 물체는 대부분의 경우가 수역이다. 여기서 W_3 와 W_4 는 각각 Ch3의 가장 어두운 물체와 Ch4에서의 가장 어두운 물체의 광휘 값(spectral value)을 의미한다. 그러므로 MODVI는 선별된 두 밴드간의 정량관계라 할 수 있다.

대기감쇠계수는 각 밴드에 종속되어 있으나, 그 비율은 각 밴드별로 일정하다고 간주하므로 가장 어두운 물체의 광휘 값을 산출할 수 있다면 MODVI는 방사적 변이성에 대하여 더 안정적이다.

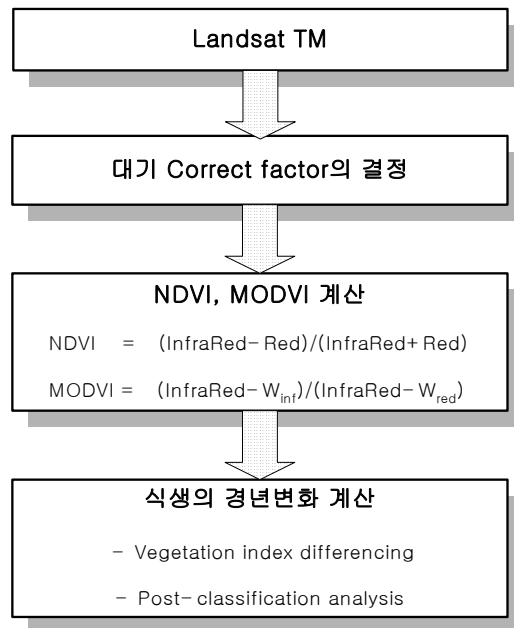
MODVI를 산출하는데 가장 중요한 과정은 영상 내에서 가장 어두운 물체의 광휘 값을 산출하는 작업이다.

일반적으로, 수역은 TM의 4번 밴드(근적외 밴드)에서 가장 어두운 물체로 분명한 광학

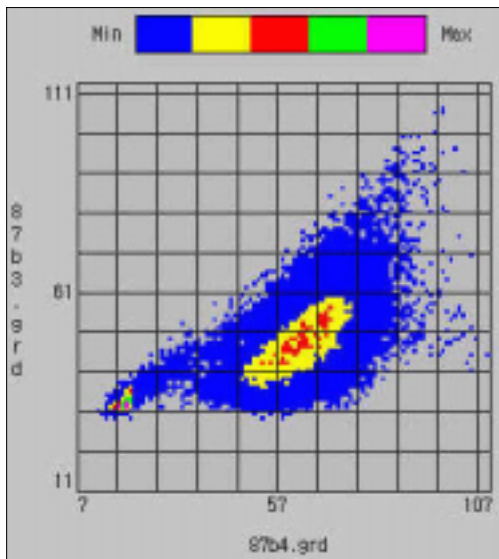
특성을 보인다. 대부분 단일 물질로 구성된 수역 픽셀의 광휘 값은 영상 내에서 가장 어두운 물체로 간주된다. 일반적으로 가장 어두운 물체의 광휘 값은 TM 4번 밴드의 광학 히스토그램 경계부근에서 발견되나 잡신호(노이즈)와는 구별된다. TM의 3번과 4번 밴드의 scatter plot에서 Cartesian공간 원점과 최고점(local peak)을 감지하여 W값으로 사용한다.

4.2.3.3. MODVI를 활용한 식생지수 비교

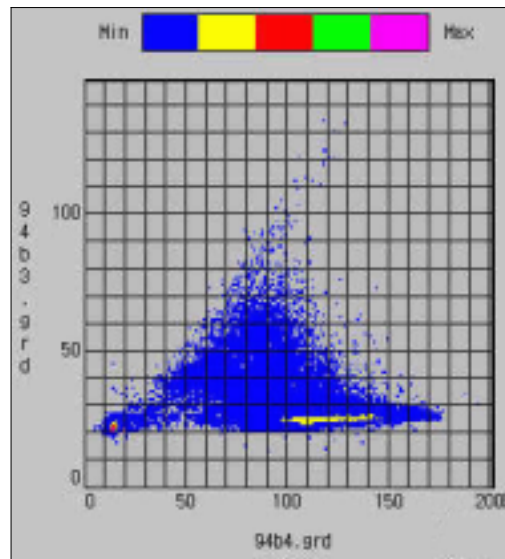
위와 같은 NDVI의 제한성을 보완하기 위하여 도출된 MODVI의 적용가능성을 살펴보기 위하여 다음과 같은 절차의 분석을 행하였다.



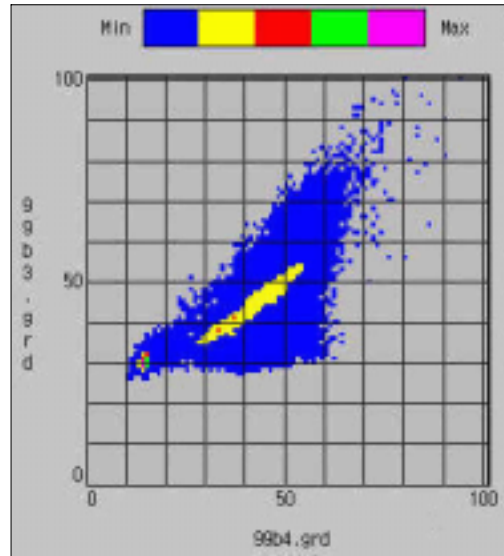
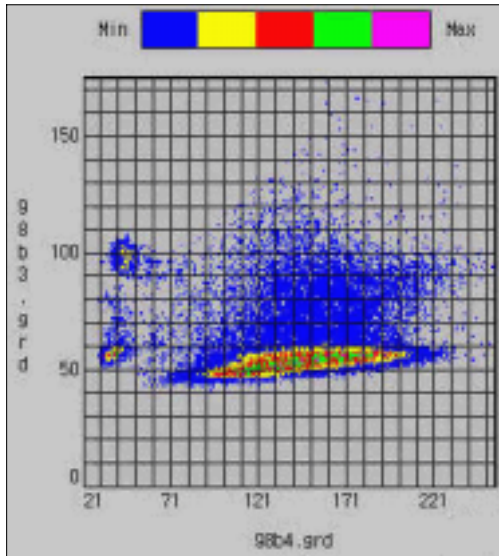
< 그림 IV-48 > MODVI의 적용흐름도



< 87. 4. 27 영상 >



< 94. 6. 1 영상 >



< 98. 10. 2 영상 >

< 99. 3. 27 영상 >

< 그림 IV-49 > Landsat TM 영상의 적외선, 적색 밴드의 Scatter Plot
(x축 ; 적외선 밴드, y축 ; 적색밴드)

위의 < 그림 IV-49 >는 Landsat TM의 히스토그램으로 1987년과 1994년 1999년의 영상은 삼각형의 형태를 그리는 전형적으로 안정된 자료의 형태이나, 1998년의 자료는 삼각형의 형태 이외에 원형 형태의 오류자료가 있다는 것을 확인할 수 있다. 이는 원자료에 이상이 있는 것으로 1998년의 자료는 stripe가 자료에 산재해 있기 때문에 이와 같은 결과를 보이고 있다.

전항의 분석방법론에 따라 분석을 진행한 결과 각각의 지수값의 평균과 표준편차를 정리 하면 < 표 IV-26 >과 같다. 여기서 특기할 만한 사항은 각각의 밴드에서 수역의 반사휘도 값을 감하였으므로 전체적으로 평균값이 낮아지는 경향을 볼 수 있다.

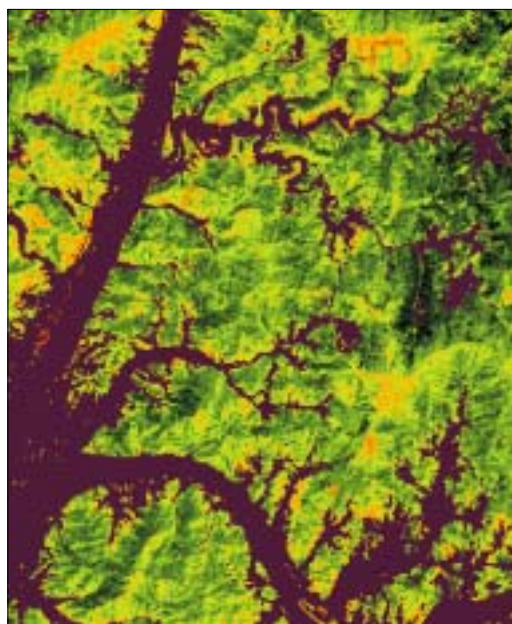
< 표 IV-26 > 위성 영상별 식생지수의 평균과 표준편차

| | Landsat 87년 4월 27일 | | Landsat 94년 6월 1일 | | Landsat 98년 10월 2일 | | Landsat 99년 3월 27일 | |
|------|-----------------------|-------|----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|
| | NDVI | MODVI | NDVI | MODVI | NDVI | MODVI | NDVI | MODVI |
| 평균 | 100.9 | 95.4 | 105.7 | 103.5 | 102.1 | 96.1 | 100.9 | 93.2 |
| 표준편차 | 70.6 | 67.8 | 69.5 | 71.9 | 67.3 | 71.3 | 71.7 | 66.4 |

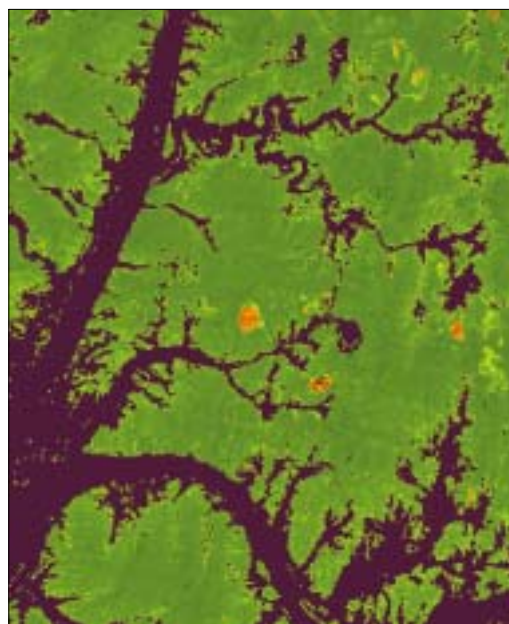
이와 같이 분석을 행한 후 분석에 사용된 자료 중 식생의 활력도가 낮은 1999년의 NDVI 값과 MODVI값을 기준으로 하여 1987년 4월, 1994년 6월 1998년 10월의 정규식생지수값을 보면 < 그림 IV-50 >에서 보는 것과 같이 3월보다는 4월의 정규식생지수값이 증가하는 경향을 보이고 있으며, 6월에 이르러서는 대부분의 지역이 거의 극상의 값을 보이고 있는 것을 발견할 수 있었다. 그러나 10월의 영상은 상식적으로 정규식생지수의 값이 저하되어야 함에도 불구하고, 그렇지 않은 추세를 보이고 있음을 발견할 수 있어, 우리나라에서의 정규식생지수의 적용시의 대기보정의 유무에 따른 오차의 발생을 확인할 수 있었다.

또한 시계열적인 관점에서 본 분석결과를 보면 1994년 6월의 계산결과 중 중앙부분에 보이는 황토색의 원형 지역은 1998년과 1999년의 분석결과에서는 사라진 점으로 유추하여 볼 때 식생의 활력도에 이상이 생긴 것으로 추정할 수 있으면, 이의 원인은 여러 가지로 생각할 수 있다. 한 예로 택지개발로 인한 벌채, 산불, 특정 병해충의 피해, 산사태 등을 원인으로 볼 수 있다.

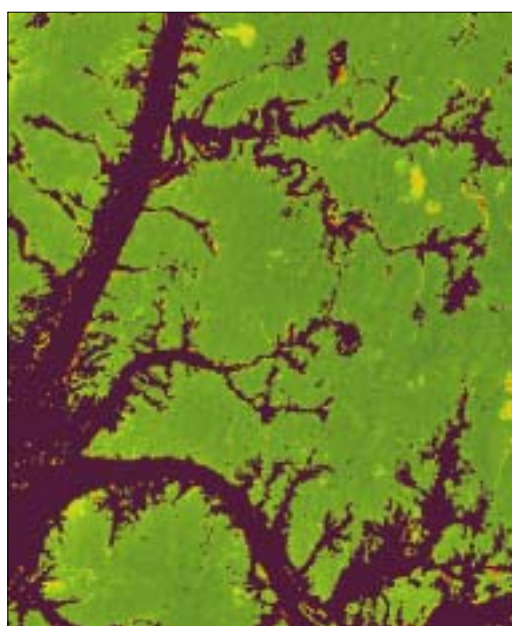
이에 비해 MODVI로 계산 결과물은 < 그림 IV-51 >과 같이 NDVI에서 보이는 오류를 상당부분 해결한 결과를 보여주고 있다.



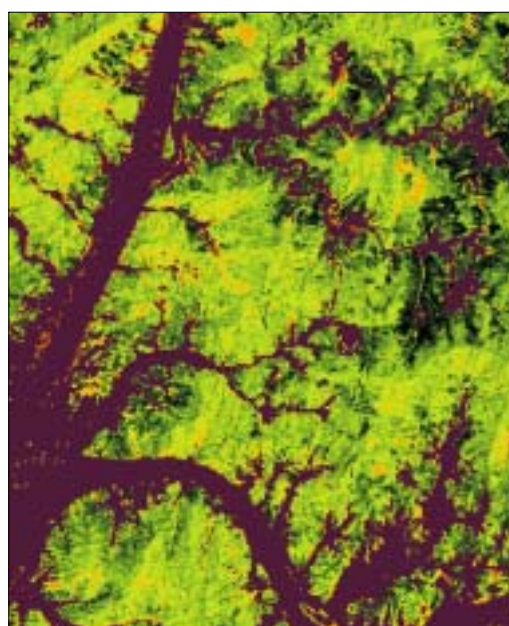
< 87. 4. 27 영상 >



< 94. 6. 1 영상 >

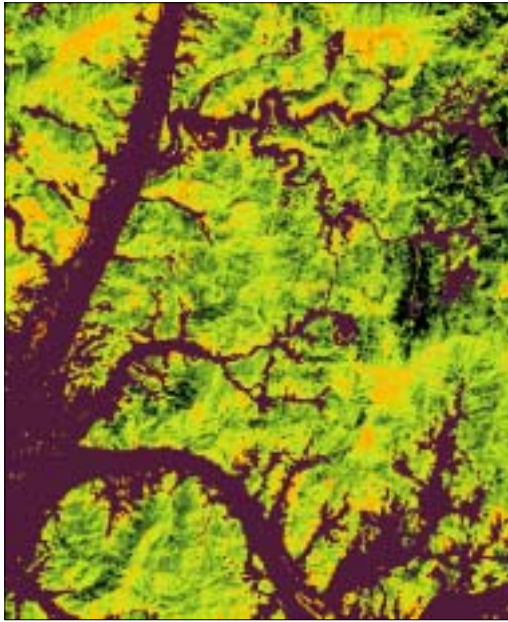


< 98. 10. 2 영상 >

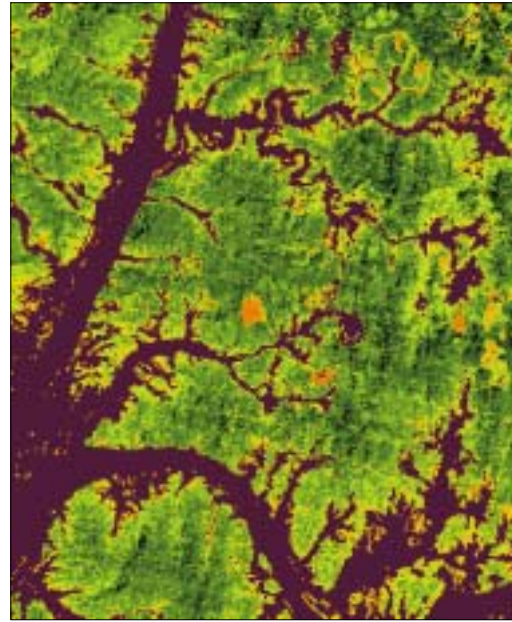


< 99. 3. 27 영상 >

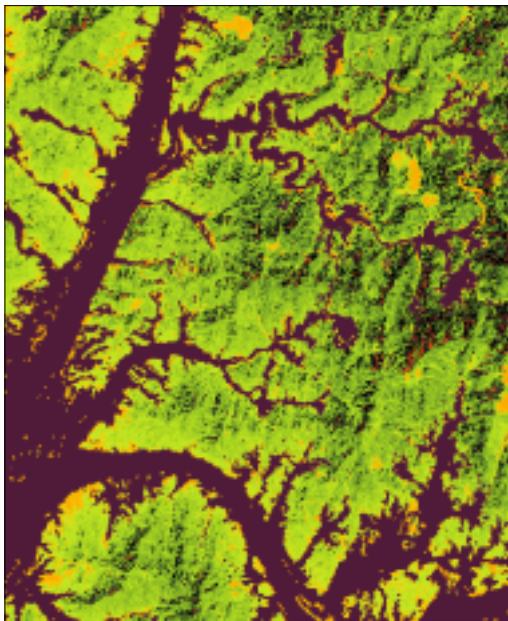
< 그림 IV-50 > Landsat TM 영상의 정규식생지수(NDVI)



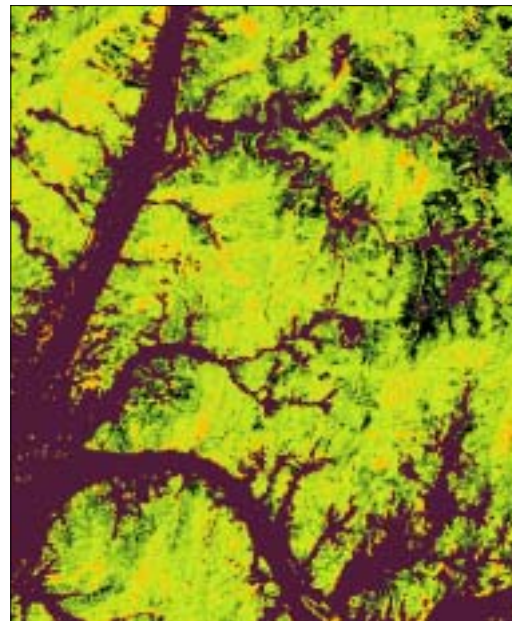
< 87. 4. 27 영상 >



< 94. 6. 1 영상 >



< 98. 10. 2 영상 >



< 99. 3. 27 영상 >

< 그림 IV-51 > Landsat TM 영상의 수정 식생지수(MODVI)

본 연구에서 제안한 MODVI를 이용하여 일정 연도를 기준으로 하여 연별, 월별 시계열 분석을 수행한다면, 연별 분석의 결과물을 이용하여 산림질의 변화를 분석할 수 있을 것이다. 일례로 국립공원지역의 등산로 주변 또는 집단시설지역의 영향권역 파악 등을 통하여 관리대책을 수립할 수 있을 것이며, 대규모 개발사업으로 인한 식생질의 저하 등을 모니터링 할 수 있을 것이다.

V. 식생분류도 활용방안 및 추진원칙

1. 식생분류도의 활용방안

자연환경보전법 제34조 제1항에 “환경부 장관은 각종 개발계획의 수립이나 시행에 활용할 수 있도록 하기 위하여 제32조 및 제33조의 규정에 의한 조사결과를 기초로 하여 전국의 자연환경을 다음 각호에 따라 구분한 생태·자연도를 작성하여야 한다.”라고 명시하고 있다. 생태·자연도에서는 전국을 4개의 권역으로 구분하고 있다.

우선 1등급 권역은 아래와 같은 지역으로 정의하고 있다.

- ① 멸종위기야생동·식물 또는 보호야생동·식물의 주된 서식지·도래지 및 주요 이동통로가 되는 지역
- ② 생태계가 특히 우수하거나 경관이 특히 수려한 지역
- ③ 생물의 지리적 분포한계에 위치하는 생태계 지역 또는 주요식생의 유형을 대표하는 지역
- ④ 생물다양성이 특히 풍부한 지역
- ⑤ 기타 ① 내지 ④에 준하는 생태적 가치가 있는 지역으로서 대통령령이 정하는기준에 해당하는 지역

2등급 권역은 1등급 각 항목에서 정하는 사항에 준하는 지역으로서 장차 보전의 가치가 있는 지역 또는 1등급 권역의 외부지역이라고 정의하고 있으며, 3등급 권역은 1등급 권역, 2등급 권역 및 별도관리지역으로 분류된 지역 외의 지역으로서 개발 또는 이용의 대상이 되는 지역이라고 정의하고 있다. 별도관리지역은 다른 법률의 규정에 의하여 보전되는 지역중 역사적·문화적·경관적 가치가 있는 지역이거나 도시의 녹지보전 등을 위하여 관리되고 있는 지역으로서 대통령령이 정하는 지역이라고 정의하고 있다.

첫 번째 활용방안은 생태·자연도 작성 시 매우 중요한 인자로 활용된다는 것이다. 식생은 생태·자연도에 대하여 법에 명시되어 있는 내용 중 가장 명확한 부분으로, 멸종위기 야생식물, 보호 야생식물의 서식지 또는 생물다양성이 풍부한 지역을 추출하는데 필수적인 자료이다. 동물은 이동하는 특성을 가지고 있어 정확한 권역을 설정하기 모호하나, 식물의 경우는 이동이 불가능하여 권역으로 설정하기 용이하며, 대부분의 동물의 서식처는 식물의 유무 및 종류와 밀접한 관련이 있어 식물이 매우 중요한 평가인자가 된다는 점이다. 또한 식생은 생태계의 천이상태를 가장 잘 나타내는 자료로 생태계의 질을 평가하는데도 없어서는 안될 중요한 자료이다. 이러한 관점에서 식생분류도는 매우 중요한 자료로 지형, 지질, 경관, 동물 등의 자료와 함께 이의 효율적인 구축 및 활용이 생태·자연도의 구축 및 활용에 있어서 매우 중요하다.

두 번째 활용방안으로는 미국에서 시행하고 있는 GAP Analysis과 같이 동물종의 서식처를 예측하는데 식생분류도를 이용할 수 있다. 사례로 얼룩올빼미 서식지모형 연구사례가 잘

보여주고 있듯이, 서식지 적합성에 영향을 미치는 식생인자로 식생유형(산림구성), 수관밀폐도, 산림구조(수목의 크기별 분포)를 설정하였다. 구축되어 있는 정보의 정확도를 고려하지 않을 때, 우리 나라에 현재 구축된 현존식생도는 1:50,000의 축척에서 식생유형의 정보를 가지고 있으며, 임상도에는 밀폐도 및 수령에 대한 정보를 가지고 있으므로, 최소표현면적, 축척 등의 일정한 기준을 설정한 후, 효율적으로 통합·활용한다면 매우 유용한 생태·자연도를 구축할 수 있을 것이다. 그러나 현존식생도의 경우 앞에서 기술한 바와 같이 경계와 속성상의 문제점이 있으므로, 본 연구에서 제시한 방법에 따라 현존식생도를 개선하는 사업을 우선적으로 시행하는 것이 필요하다.

세 번째 활용방안으로는 각종 통계자료의 작성분야일 것이다. 현재 식생에 대한 통계자료로 구축되어 있는 것은 임목축적량과 같은 이용목적에서 조사되고 있는 항목으로 위치정보는 거의 조사가 되고 있지 않고 있다. 따라서 본 과업에 제시한 방법론과 기준에 따라 인공위성 영상자료를 활용하여 현존식생도를 개선하고, 새로이 구축하는데, 인공위성영상자료를 활용한다면, 현존식생도의 구축 및 갱신 시 많은 시간을 단축할 수 있으며, 정확도를 높일 수 있을 것이다. 또한 구축된 정보는 위치정보와 속성정보를 함께 가지고 있으므로 GIS분석을 이용한 각종 환경통계의 작성 및 계획의 입안 시에 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

네 번째 활용방안으로는 국토계획 및 환경보전 장기종합계획 수립시 기본자료로 활용하는 것이다. 식생분류도는 식생에 대한 정보만이 아니라, 동물상에 대한 정보도 일정부분 가지고 있다. 따라서 이러한 정보를 이용하여 국토계획이나, 환경보전장기종합계획 수립시 기본자료로 활용한다면, 지속가능한 국토이용과 관리에 많은 기여를 할 수 있을 것이다.

2. 식생분류도 작성을 위한 추진원칙 및 향후 연구과제

이러한 식생분류도를 전국적으로 작성할 때는 다음과 같은 추진원칙을 지켜야 할 것이다.

첫째, 식생분류도의 좌표체계를 점검해 보아야 할 것이다. 우리 나라의 국립지리원은 Bessel 타원체의 TM좌표계를 기본으로 대부분의 지도를 제작하고 있어 대부분의 보조자료는 이와 같은 좌표체계를 이용하고 있다. 그러나 이 좌표체계는 우리 나라 전국을 3개의 원점을 가지고 투영한 것으로, 원점부근의 정확도는 높으나, 이를 하나의 원점을 이용하여 전국적으로 모자이크 처리할 경우 지형의 왜곡이 발생하는 문제점을 내포하고 있다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 1999년 11월에 완료된 토지피복분류사업의 결과는 기본적으로 하나의 원점을 사용한 Bessel의 TM좌표계와 WGS84의 UTM 2개의 좌표계를 전부 활용할 수 있도록 구축하였다. 따라서 현재 전세계적으로 활용이 많이 이루어지고 있는 WGS84 타원체와 UTM 좌표계를 이용하여 식생분류도를 작성하는 것을 고려하는 것이 필요하다.

둘째, 식생분류도 항목을 설정하는 경우 이의 활용목적을 명확히 하여야 할 것이다. 우리나라에서 식생과 관련하여 구축된 자료로는 임상도, 현존식생도, 녹지자연도 등이 있다. 임상도의 경우는 임산자원의 효율적인 이용 및 관리를 위해 구축된 것으로 본 연구에서 제시하

였듯이 위성자료의 분석을 통하여 임상도를 구축하는 것은 매우 어려운 일이다. 다만 식생의 경계를 추출하고, 이를 임상도의 전체 식생경계와 대조하여 변화가 있는 지역을 찾아내는 데는 사용이 가능할 것이다. 그러나, 현존식생도는 환경부문의 생태서식처 보호, 자연환경보전 등을 위하여 구축된 것으로 위성자료의 분석을 통하여 현존식생도의 군락을 추출할 수 있으므로, 이의 개선에 가능성이 높다. 녹지자연도의 경우는 구축된 자료의 해상도가 1km로, 그 내에는 매우 많은 종류의 식생을 포함하고 있으므로, 확정적으로 식생종류가 어떻다 라고 정하기는 어렵다. 그러므로 식생분류도 작성 항목 설정 및 해상도에 대한 충분한 고려가 이루어져야 할 것이다.

셋째, 모든 자료가 1회의 조사만으로 구축되고, 자료의 갱신이 이루어지지 않는다면, 자료의 가치는 크게 축소될 것이다. 따라서 자료의 갱신에 대한 명확한 기준이 설정되어야 할 것이다. 자연환경보전법에 의해 전국자연생태계기초조사를 매10년마다 실시하도록 되어 있으며, 특정지역에 대해서는 매5년마다 조사를 수행할 수 있도록 규정되어있다. 따라서 식생분류도도 이와 같은 관점에서 전국차원에서 군락개념으로 구축할 경우는 5년 또는 10년 주기로 작성하며, 토지피복분류에서 구축하는 것과 같이 산림지역의 경계만을 추출할 경우에는 매1년마다 구축을 수행하고, 침엽수림, 활엽수림, 혼효림 등으로 구축할 경우에는 매1년 또는 2년에 한번씩 구축하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

넷째, 현재 임업연구원에서 구축한 임상도는 임산자원의 효율적인 관리와 이용을 목적으로 조사하여 구축하고 있는 자료이나, 여기에도 환경부문에서 효용이 높은 유용한 정보들을 포함하고 있다. 따라서 이를 적용하는 방법 또한 고려하여야 할 것이다.

다섯째, 우리 나라에서 구축되는 식생분류도의 정확도에 대해서 고려를 해 보아야 할 것이다. 인공위성자료를 이용하여 침엽수림, 활엽수림, 혼효림으로 구분하였을 경우는 정확도는 약 85%정도가 적정할 것으로 보이며, 현존식생도와 같은 군락개념으로 구축할 경우에는 약 70%정도의 정확도가 적정할 것으로 보인다. 그러나 이러한 정확도는 얼마나 정밀한 최소표현면적을 설정하였느냐에 따라 크게 좌우되므로 이에 대한 기준 또한 고려되어야 할 것이다.

이와 같은 추진원칙을 충실히 고려하며, 식생분류도 작성 작업을 수행하며, 이에 부가하여, 향후 식생분류도의 개선을 위한 연구과제로는 다음과 같은 것들을 고려해야 할 것이다.

첫째, 위성영상자료를 이용하여 식생분류도를 구축하였을 경우 이의 정확도를 검증하기 위해서는 정확한 식생분류도가 있어야 할 것이다. 따라서 전국적으로 사업을 시행하기에 앞서 정확한 식생분류가 완성된 참조지역이 우선적으로 구축되는 필요하다.

둘째, 일반적으로 식생분류시, 현존식생도나, 위성영상자료에서 시각적인 판단에 의해 training 지역을 선정하나, 향후 식생분류도 사업을 수행할 경우에는 각 군락별로 Training 지역으로 설정할 지역들을 GPS 장비를 이용하여 정밀하게 추출하는 작업을 수행하여야 하며, 이를 통한 식생분류도 작성 및 정확도 검증이 이루어져야 한다.

셋째, 향후 식생분류도 사업을 수행할 경우에는 구축하고자 하는 축척별로 적합한 위성자료를 선정하는 연구를 수행해야 한다. 즉, 1:50,000, 1:25,000, 1:5,000축척 등에 따라 적합한 위성자료를 선정하고, 이에 따라 위치정확도를 산출하는 연구가 필요하다. 본 과업에서 주로 사용한 Landsat TM 자료는 1:50,000 수준의 식생분류도를 구축하는데, 적합하며, 이보다 더 자

세한 식생분류도를 구축하기 위해서는 고해상도의 위성자료가 필요하다.

넷째, 대상지역내에서 수종별 위치별로 표본지역을 선정하여 지수와 수관의 밀집도와의 상관관계를 살펴보는 연구를 진행할 필요가 있다. 이 연구결과가 높은 상관관계를 보인다면, 수관의 밀집도를 밝히는 중요한 지수가 될 것이며, 이는 생물종의 서식처를 추정하는 데 매우 유용한 결과물이 될 것이다.

다섯째, 향후 이용가능한 고해상도 Multi-spectral 자료와 panchromatic 자료의 이용가능성에 대하여 연구하는 것이 필요하다.

VI. 요약 및 결론

우리 나라는 환경보전이라는 시대적 흐름에 맞추어 자연환경보전법을 개정하였으며, 동법에서 생태·자연도를 구축하여 국토의 효율적인 보존과 이용을 도모한다고 제시하고 있다. 이 생태·자연도를 구축하기 위해서는 여러 가지 평가인자들이 필요하며, 이중 식생분류도는 자연생물의 서식공간을 평가할 수 있다는 점에서 매우 중요한 평가인자이다.

식생분류도란, 식생을 군락, 인공림과 자연림, 수령 등 여러 가지 목적에 따라 분류한 자료로, 우리 나라와 같이 전체 면적의 70%가 산림지역이라는 특성을 볼 때, 매우 중요한 평가인자이다. 본 연구에서는 식생분류도를 작성하는데, 현재까지는 현지조사 또는 항공사진에만 의존하던 것을 인공위성자료를 이용하여 단기간내에 분류하는 방법론을 연구하였으며, 이의 활용 가능성과 한계 그리고 향후 추진연구과제에 대하여 고찰하여 보았다.

현재, 우리 나라에 구축된 식생분류도로는 현존식생도와 임상도가 있으며, 현존식생도는 서식처를 찾고 이를 보전하기 위한 측면에서 군락을 이용하여 식생을 분류하였으며, 임상도는 입산자원의 효율적인 관리와 이용을 목적으로 식생을 분류하여, 활용가능성에서 차이가 있다.

본 연구에서는 생태·자연도 구축시 유용하게 활용될 수 있는 현존식생도의 개선에 주된 초점을 두어, 인공위성자료의 시기별, 자료별, 방법론별 분류가능성을 고찰하였으며, 현재 가장 많이 쓰이고 있는 정규식생지수(NDVI)의 활용가능성과 한계점을 고찰하여 수정된 식생지수의 활용가능성과 활용방안에 대하여 연구하였다.

연구결과, 군락개념의 식생분류도의 구축시 가장 중요하게 고려해야 할 점은 자료의 시기라는 것을 알 수 있었으며, 위성자료별로는 큰 차이를 보이지 않는다는 것을 알 수 있었다.

또한 1가지 수준의 식생위치과약에 있어서는 감독분류를 수행함으로써, Training 지역의 선정이 최종결과물의 구축에 있어서 가장 중요한 결정인자가 된다는 것을 알 수 있었다. 따라서 이를 자동화한다는 것은 불가능하며, 이의 판단은 분류자의 전문적인 지식에 의해서 이루어진다.

정규식생지수(NDVI)는 범용성에서 많은 의미가 있으나, 이를 적용하여 정밀한 분석을 실시하고 이를 기반으로 정책을 결정하는 것은 어렵다는 것을 사례연구를 통하여 밝혔으며, 이의 개선방안으로 수정식생지수(MODVI)의 활용가능성을 제시하였다.

본 연구는 인공위성영상자료를 이용하여 식생분류도를 제작하는 방법을 고찰하였다. 그러나 위성영상자료의 한계성과 요구되어지는 식생분류도의 질은 정확히 일치하지 않으나, 인공위성영상자료와 적외선 천연색 항공사진을 혼용한다면 우수한 수준의 식생분류도를 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

국내문헌

- 김우철외(1984), 현대통계학, 영지출판사, pp.41-44.
- 김영섭외 2인 공역(1998), 원격탐사개론, 동화기술
- 김용일(1991), 인공위성 원격탐사 데이터의 분석정확도 향상에 관한 연구-지형적 분광반사특성 보정과 통계적 분류기법을 중심으로-, 서울대학교 공학박사 학위논문, pp.129-131.
- 문현생외 5인(1995), “인공위성자료를 이용한 환경영향평가:토지이용변화를 중심으로”, 환경영향평가학회지 4(2) : 23-28
- 박민호(1996), 정준상관분석을 이용한 영상분류기법의 개발, 서울대학교 공학박사 학위논문, pp.17-20.
- 박병욱(1996), “Landsat TM자료를 이용한 광주시 환경변화분석”, 지형공간정보학회지 4(1) : 31-41
- 박병욱(1996), “수치위성자료를 이용한 광역의 토지피복분류 기법”, 한국측지학회지, 14(1) : 39-47.
- 박종화(1995), 위성자료를 이용한 서울시 도시녹지의 평가기법연구 : 북한산국립공원 주연부 탐지“, 대한원격탐사학회지 11(3) : 71-81
- 이규성(1998), “SPOT영상을 위한 산림지역의 지형효과 보정 방법 비교”, 대한원격탐사학회 춘계학술대회 논문집, p.6
- 이규성외 2인(1996), “環境因자의 空間分析을 통한 南韓지역의 山林植生帶 구분: 지리정보시스템(GIS)에 의한 접근”, 한국생태학회지, 19(5): 465-476
- 이기철외 3인(1997), “Landsat TM 자료를 이용한 서남해 연안 습지의 시공간 변화분석에 관하여”, 한국환경영향평가학회지 6(1) : 55-66
- 전성우, 박종화(1997), 자연환경부문의 원격탐사기법 도입방안에 관한 연구, 한국환경정책평가연구원
- 전성우, 서창완(1998), “원격탐사와 GIS기법을 이용한 접경지역 토지피복연구”, 한국환경영향평가학회지 7(1) : 11-22
- 지광훈 외2인(1997), “GIS/Remote sensing 기법을 이용한 하남지역의 지표환경 변화분석”, 대한원격탐사학회지 연구발표회 논문집, p.7
- 최철웅 외2인(1995), “인공위성 영상해석에 의한 녹지자연도 분류방법”, 부산대학교 생산기술연구소논문집, 49 : 27-36.
- 한의정 외3인(1997), “식생지수와 녹지자연도의 비교평가”, 한국환경영향평가학회지, 6(2) : 181-188.
- 한의정 외5인(1997), “식생지수를 이용한 환경영향평가”, 한국환경영향평가학회지 6(1) :

국외문헌

- Anderson, J. R., Hardy, E. E., Roach, J. T., and Witmer, R. E.(1976), A Land Use and Land Cover Classification System for Use with Remote Sensor Data, U. S. Geological Survey Professional Paper 964, U. S. Government Printing Office, Washington, DC.
- Baret, F. and Guyot, G.(1991), Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, *Remote Sensing of Environment*, 35:161-173
- Castleman, Kenneth R.(1996), *Digital Image Processing*, Prentice Hall
- Civco, Daniel L.(1989), Topographic Normalization of Landsat Thematic Mapper Digital Imagery, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55(9) : 1303-1309
- Clevers, J. G. P. W.(1988), The derivation of a simplified reflectance model for the estimation of leaf area index, *Remote Sensing of Environment*, 35:53-70.
- Colby, Jeffery D.(1991), Topographic Normalization in Rugged Terrain, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57(5) : 531-537
- Conese, S. et al.(1993), Topographic Normalization of TM Scenes through the Use of an Atmospheric Correction Method and Digital Terrain Models, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59(12) : 1745-1753
- Consese, Claudio et al.(1992), Inclusion of Prior Probabilities Derived from a Nonparametric Process into the Maximum-Likelihood Classifier, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 58(2) : 201-207
- Cowardin, L.M., Carter, V., Golet, F.C., and LaRoe, E.T.(1979), *Classification of Wetlands and Deepwater habitats of the United States*, Fish and Wildlife Services, U.S. Department of Interior, Washington, DC.
- Crippen, R. E.(1990), Calculating the Vegetation Index Faster, *Remote Sensing of Environment*, 34:71-73.
- Dickinson, R.E., Henderson-Sellers, A., and Kennedy, P.J.(1993), *Biosphere- Atmosphere Transfer Scheme (BATS) Version 1e as Coupled to the NCAR Community Climate Model.*, NCAR Technical Note TN- 387 + STR
- Duda, R.D. and P.E. Hart(1973), *Pattern Classification and Scene Analysis*, New York, John Wiley and Sons, p.482
- Ekstrand, S.(1996), Landsat TM-Based Forest Damage Assessment: Correction for Topographic Effects, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*,

- 62(2):151-161.
- Eppler, W.G.(1974), "An Improved Version of the Table Look-Up Algorithm for Pattern Recognition", Proceedings of the Ninth International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol.2, pp.793~795.
- Estes, J. E., McGwire, K. C., and Star, J. L. Eds.(1996), Interpretation of Geographic Information Systems and Remote Sensing, Cambridge University Press
- Floyd F. Sabins(1996), Remote Sensing Principles and Interpretation, Third edition, p.57
- Franklin, J. F.(1993), Preserving biodiversity: species, ecosystems, or landscapes?, Ecological Applications 3:202-205.
- Franklin, J. F.(1995), Why Link Species Conservation, Environmental Protection, and Resource Management?, in Linking Species and Ecosystems, Jones, C. G. and Lawton, J. H., Eds., New York: Chapman & Hall. pp. 326-335.
- Frohn, Robert C.(1998), Remote Sensing for Landscape Ecology: New Metric Indicators for Monitoring, Modelling, and Assessment of Ecosystems, Lewis Publishers, pp.35-85.
- George Büttner(1997), Land Cover - Hungary, FÖMI, Remote Sensing Center
- Goodchild, M.F., B.O. Parks and L.T. Steyaert.(1993), Environmental Modeling with GIS. Oxford Univ. Press, New York, p.488
- Hein van Gils, et al.(1991), The Evaluation of the ITC System of Rural Land Use and Land Cover Classification(LUCC), ITC Journal 3 : 163-167
- Henderson-Sellers, A.(1994), Global terrestrial vegetation 'prediction': the use and abuse of climate and application models. Progress in Physical Geography 18: 209-246.
- Henk J. Buiten, Jan G.P.W. Clevers(1990), Land Observation by Remote Sensing, Gordon and Breach Science Publishers, pp.56-59.
- Huete, A. R.(1988), A Soil-Adjusted Vegetation index (SAVI), Remote Sensing of Environment, 25:295-309.
- Huete, A. R., Jackson, R. D.. and Post, D. F.(1985), Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds, Remote Sensing of Environment, 17:37-53
- Iisaka, Joji and Sakurai-Amano, Takako, A New Vegetation Index for Remote Sensing(1999), International Symposium on Remote Sensing Paper, Korean Society of Remote Sensing, pp.256-261
- James, M., and Kalluri, S.N.V. (1994) The Pathfinder AVHRR data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. International Journal of Remote Sensing 15: 3347-3363.
- Jensen, John R.(1995), Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective (Prentice Hall Series in Geographic Information Science), Prentice Hall
- Jordan, C. F.(1969), Derivation of leaf area index from quality of light on the forest floor,

- Ecology, 50:663-666
- Kanfman, Y. J., Tanre, D.(1992), Atmospherically resistant vegetation index (ARVI) for EOS-MODIS, in Proc. IEEE Int. Geosci. and Remote Sensing Symp. '92, IEEE, New York, 261-270.
- Kauth, R. J. and Thomas, G. S.(1976), The tasseled cap-A graphic description of the spectral-temporal development of agricultural crops as seen by Landsat,' Proceedings of the Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, Purdue University, West Lafayette, Indiana, pp.41-51.
- LaHaye, W.S., Gutierrez, R.J., and Call, D.R.(1992), Demography of an insular population of spotted owls (*Strix occidentalis occidentalis*). In: McCullough, D., Barrett, R.H., eds. Wildlife 2001: Populations. New York: Elsevier Press; pp.803-814.
- Lee, Kyu-Sung, Yoon, Jung-Sook(1997), Radiometric correction of terrain effects for SPOT and Landsat Thematic Mapper imagery in mountainous forest area, Journal of the Korean Society of Remote Sensing, vol. 13, No. 3, pp.277-292
- Leprieur, C.E. and J.M. Durand(1988), Influence of Topography on Forest Reflectance Using Landsat Thematic Mapper and Digital Terrain Data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 54:491-496.
- Lillesand, Thomas M. and Kiefer, Ralph W.(1994), Remote Sensing and Image Interpretation, John Willey and Sons
- Lyon, John G. and McCarthy, Jack, Eds.(1995), Wetland and Environmental Applications of GIS, Lewis Publishers, pp.49-191.
- Maiden, M.(1994), The Pathfinder project. International Journal of Remote Sensing, 15: 3333-3345.
- Michener, K., Brunt, J. W., and Stafford, S. G. Eds.(1994), Environmental Information Management and Analysis: Ecosystem to Global Scales, Taylor and Francis, pp.159-190
- Paul J. Curran(1985), Principles of Remote Sensing, Longman Science & Technical
- Philip H. Swain, Sherley M. Davis(1978), Remote Sensing : The Quantative Approach, McGraw-Hill, pp.23-27.
- Pinty, B. and Verstraete, M. M.(1991), GEMI : A Non-Linear index to Monitor Global Vegetation from Satellites, Vegetation, 101:15-20.
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., and Kerr, Y. H.(1994), Modified Soil Adjusted Vegetation index (MSAVI), Remote Sensing of Environment, 48:119-126.
- Richards, John A.(1993), Remote Sensing Digital Image Analysis: An Introduction, Springer-Verlag, pp. 265-291
- Richardson, A. J. and Wiegand, C. L.(1977), Distinguishing Vegetation from Soil Background information, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing,

- 43:1541-1552.
- Ronald I. Miller(1994), Mapping the Diversity of Nature, Chapman & Hall
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., and Deering, D. W.(1973), Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351, 1:309-317.
- Running. S.W. et al.(1994), Terrestrial remote sensing science and algorithms planned for EOS/MODIS. International Journal of Remote Sensing 15: 3587-3620.
- Sample, V. A., Ed.(1994), Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management. Washington, DC: Island Press. pp.140-74
- Schowengerdt, Robert A. (1983), Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing, Academic Press,Inc.
- Schultz, T.T. and Joyce, L.A.(1992), A spatial application of a marten habitat model. Wildlife Society Bulletin 20:74-83.
- Scott, J. M., et. al.(1993), Gap Analysis: Protecting Biodiversity Using Geographic Information Systems, Wildlife Monograph 123:1-41
- Smith, J.A.,T.L. Lin, and K.J. Ranson(1980), The Lambertian assumption and Landsat data, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 46(9):1183-1189.
- Sohl, Terry L., Apr. (1999), Change Analysis in the United Arab Emirates: An Investigation of Techniques, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.65, No.4, pp. 475-484.
- Swain, P.H., and S.M. Davis(1978), Remote Sensing-The Quantitative Approach, McGraw- Hill
- T.J.M. Kennie, M.C. Matthews(1985), Remote Sensing-in civil engineering-, John Wiley and Sons, pp.97-99.
- Thomas, J.W., Forsman, E.D., Lint, J.B., Meslow, E.C., Noon, B.R., and Verner, J.(1990), A conservation strategy for the Northern spotted owl. Interagency Scientific Committee to Address the Conservation of the Northern spotted owl (USDA: Forest Service, USDI: Bureau of Land Management, Fish and Wildlife Service, and National Park Service). 1990-791-171/20026. United States Government Printing Office, Washington, D.C. USA.
- Tucker, C. J.(1979), Red and Photographic infra-red Linear Combinations for Monitoring Vegetation, Remote Sensing of Environment, 8:127-150.
- Verner, J., McKelvey, K.S., Noon, B.R., Gutierrez, R.J., Gould, G.I., Beck, T.W., Technical Coordinators.(1992), The California spotted owl: a technical assessment of its current status. General Technical Report PSW-GTR-133. Pacific Southwest Research Station, Forest Service. U.S. Department of Agriculture.
- Vogelmann, J.E., Sohl, T., and Howard, S.M. (1998), Regional Characterization Using

- Landsat Thematic Mapper Data and Ancillary Data Sources, Environmental Monitoring and Assessment, 51:415-428.
- Warren B. Cohen M. Hoffer(1994), GIS Application Perspective : Current Research on Remote Sensing of Forest Structure, V. Alaric Sample(ed.) Remote Sensing and GIS in Ecosystem Management, Island Press, pp.91-110
- Wecksung, G. W. and Breedlove, J. R., Jr.(1977), Some techniques for digital processing, display, and interpretation of ratio images in multispectral remote sensing,' in Applications of Digital Image Processing, Proceedings of Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, Bellingham, Washington, 119:47-54.
- White, J. D. and Running, S. W.(1994), Testing scale dependent assumptions in regional ecosystem simulations. Journal of Vegetation Science 5: 687- 702.
- Woodcock, C. D., Collins, J., Gopal, S., Jakabhazy, V. D., Li, X., Macomber, S., Ryherd, S., Harward, V. J., Levitan, J., Wu, Y., and Warbington, R.(1994a), Mapping forest vegetation using Landsat TM imagery and a canopy reflectance model. Remote Sensing of Environment 50: 240-254.
- Woodcock, C. E. and Harward, V. J.(1992), Nested-hierarchical scene models an image segmentation. International Journal of Remote Sensing 13: 3167-3187.
- Xue, Y., Sellers, P.J., Kinter, J.L. and Shukla, J.(1991), A simplified biosphere model for climate studies, J. Climate, 4, pp.345-364.
- Zhu, Z., Yang, L., Stehman, S., and Czaplewski. R., (1999), Designing an Accuracy Assessment for USGS Regional Land Cover Mapping Program, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.
- 國立公園協會(1991), 衛星畫像活用による植生調査手法の検討調査 報告書, 環境廳

부록 I : 일본의 위성화상을 이용한 식생조사방법²²⁾

1. 개요

1.1. 실시요령 작성

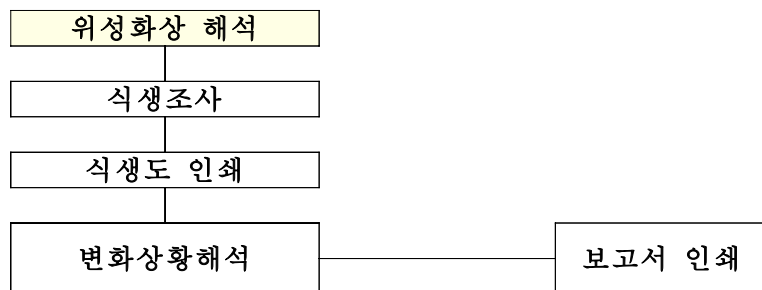
제4회 자연환경보전 기초조사에서 실시한 식생조사는 위성영상을 활용한 수법을 도입하여 동시성이 높은 자료에 근거 전국의 식생현황 및 경년변화를 파악하고자 한다.
이 요령(안)의 작성목적은 이러한 수법을 획일화하고 정밀도 유지와 조사의 원활화를 도모하는데 있다.

(해설)

- 제4회 자연환경보전 기초조사에서의 식생조사 목표
 - ① 전국의 식생현황에 대한 제2회, 제3회 기초조사시점과의 경년변화를 동시성이 높은 자료로부터 파악하고, 식생변화가 적은 지역에 대해서는 기존 1/50,000 식생도의 수정판을 작성한다.
 - ② 전국의 식생현황 및 경년변화를 주제도 등으로 작성하여 정량적으로 해석할 수 있게 한다.
 - ③ 이러한 조사에서는 가능한 한 적은 인원으로, 동시에 학식과 고도의 기술이 없는 자도 실시할 수 있도록 한다.
 - ④ 위성영상의 활용은 ①,③에 주안점을 두나, 통계적인 방법의 전국조사에 의해 ②의 수량파악과도 관련될 것이다. 더욱이 양질의 영상 입수와 계산비용의 저감 등으로 높은 이용 실용화로 발전될 것이다.

- 식생조사

식생조사는 위성영상해석과 계속해서 실시되어지는 식생조사를 연관하여 자연환경보전을 위한 기초자료를 정비하고자 하는 것이다.



< 부록그림 I-1 > 식생조사 사업의 흐름

22) 부록 I 은 1991년에 일본 환경청에서 발주한 위탁연구용역의 결과를 요약·정리한 것이다.

- | | |
|----------|--------------------------------|
| ① 위성화상해석 | 위성화상 해석에 의한 식생변화지 (경년변화지)추출 |
| ② 식생 조사 | 식생현지조사 및 식생도 수정 |
| ③ 식생도 인쇄 | 수정판 식생도 인쇄 |
| ④ 변화현황해석 | 전국의 식생변화현황 종합정리 및 해석 |
| ⑤ 보고서 작성 | 전국(판) 보고서 인쇄 |

1.2. 조사내용

본 조사는 두시기의 경년변화 영상을 작성하고 이 영상을 식생조사 경험자가 판독하여 식생도 갱신을 위한 변화정보를 종합·정리하는 것까지 일련의 과정이다. 조사는 대상지구에 따라 계산처리에 의한 방법과 간이수법에 의한 방법으로 실시한다.

(해설)

● 경년변화영상의 선정배경

식생도를 갱신하기 위한 방법으로써 기존의 식생도와 관련하여 새롭게 식생도를 비교·작성하는 것이 통상적이다. 그러나 이 방법은 아래의 이유로 조사의 실현성 또는 경제성에서 어려움이 있다고 고려된다. 따라서, 위성영상 정보의 이점을 조합한 두시기의 경년변화정보를 추출하고 식생변화정보를 획득한 자료에 근거하여 식생도를 갱신한다.

- ① 자료부족 등으로 제 2회, 제 3회의 조사 방법을 이용하여 동일한 정밀도로 전국을 다시 도화(圖化)하기는 어렵다.
- ② 기존의 식생도와 동일한 수준의 식생정보 획득은 항공사진촬영, 현지조사 등의 방법을 채용할 필요가 있다.
- ③ 위성영상을 이용한 상관적 식생분류를 하는 것은 가능하지만 숙련도와 장기간의 조사가 요구된다.
- ④ TM, SPOT과 같은 고해상도의 위성영상을 이용한 경우에도 위성영상의 분류정보와 정성적 정보를 포함하는 식생도 정보를 동일한 것으로 취급하기는 곤란하다.

1.3. 조사대상지구

조사대상지구는 위성영상의 촬영구획에 의해 51지구로 나눈다.
또한 조사는 대상지구에 의해 다음의 2가지 방법에 따라 실시한다.

① 계산처리방법에 의한 대상지구

본토지역 35지구(현존식생도 약 1145매 상당)

두시기의 위성영상 자료의 계산처리로써 식생변화지 등을 강조한 두시기 경년변화 영상을 작성, 판독하여 식생변화지를 추출한다.

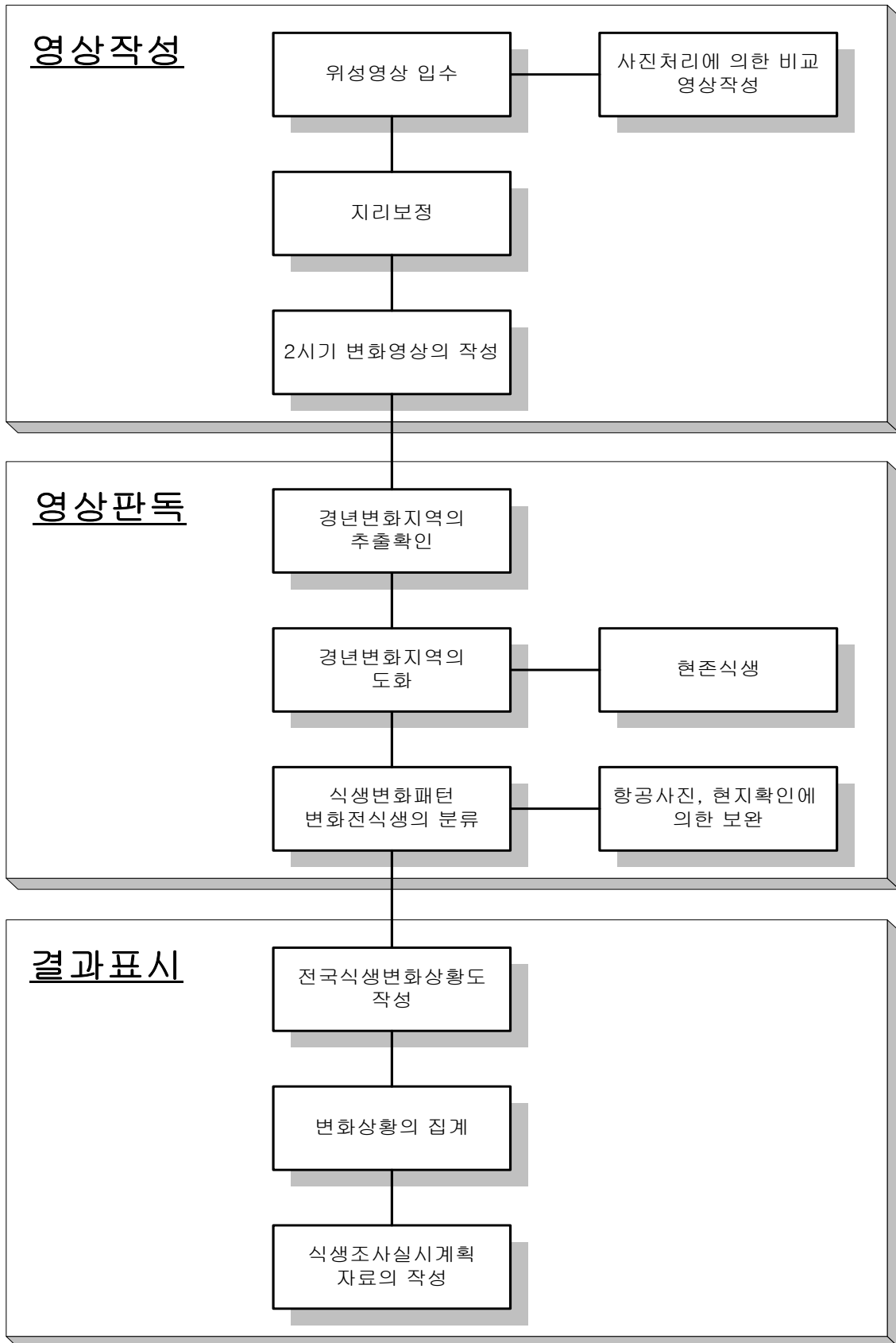
② 간이수법에 의한 대상지구

도서지역 및 본토 일부 16지구(현존식생도 약 105매 상당)

두시기의 위성영상을 비교판독, 또는 두 시기의 흑백 양화필름을 사진처리방법으로 식생변화지를 추출한다.

1.4. 조사수법의 요령

조사 과정은 영상작성, 영상판독, 결과 표시로 크게 분류되며 아래 순서에 따라 실시한다.



< 부록그림 I-2 > 조사 분석 과정흐름

2. 영상작성 방법

2.1. 영상작성 순서

식생의 경년변화지역을 추출하기 위하여 판독영상을 다음의 절차에 따라 작성한다.



< 부록그림 I -3 > 영상작성방법

(해설)

● 영상작성 공정

영상작성은 크게 3공정으로 나누어진다.

- ① 제1공정은 영상입수로, 선정기준에 따라 양질의 영상을 선택하고, 동일영상 작업상의 중복을 피하기 위해 일괄적으로 관리하는 것까지의 공정이다.
- ① 제2공정은 계산처리에 의한 판독영상작성과 보조 MSS와 TM영상 작성이다.
- ① 제3공정은 도서지역 등의 해석에 이용하는 간이법에 의한 영상작성이다.
- ① 제2,3공정은 동시에 병행할 수 있다. 또 후속의 영상판독은 기존의 현존식생도(축척 1/50,000) 단위에서 작업하는 것이기 때문에 계산처리를 전부 종료하지 않고 병행할 수 있다.

2.2. 영상의 선정·관리

해석에 이용하는 영상은 다음과 같이 선정·입수하고, 관리한다.

① 계산처리에 의한 해석

계산처리에는 두시기의 MSS 영상을 이용하는 것을 원칙으로 하고 이 영상을 기본 영상이라 한다. 기본 영상으로써 식생 변화전 자료는 변화후 자료의 5년 이상 전의 것으로 한다. 또 변화후 자료는 선정조건에 맞는 영상중 가장 적합한 것으로 한다. 한편 기본영상을 보충하는 영상 및 판독을 보조하는 영상을 이용하고, 이를 보조영상이라 한다.

보조영상은 기본영상과 동일 위치에서 눈, 비 등의 피복이 적은 영상, 낙엽성 식물의 판별이 쉬운 영상을 선택한다. 또 이사용 배경도르써 변화후 영상과 동일시기에 촬영된 TM영상을 선택한다.

자료로써 계산처리에 이용하는 기본영상은 CCT를, 보조영상은 양화필름을 구입한다.

② 간이수법에 의한 해석

사진처리 또는 비교판독에 의한 해석에 이용하는 영상으로써 MSS 또는 TM 양화필름을 이용한다.

변화전과 변화후 영상의 선정은 계산처리에 의한 해석과 동일하다.

(해설)

● 영상의 선정조건

- ① 영상의 선정은 영상의 작성, 영상의 판독에 매우 큰 영향을 주므로 이용 가능한 영상 정보의 좋고, 나쁨에 따라 최종적으로 제공할 수 있는 정보가 좌우된다고 해도 지나치지 않다.
- ② 그래서 양질의 영상 선택은 눈의 양, 촬영시기 뿐만 아니라 상록, 낙엽 등에 따른 식물의 계절변화, 지역성 등을 고려해서 전국을 동일기준에 의해 행할 것이 요구된다.

● MSS영상을 이용한 이유

- ① 두시기의 경년변화정보를 얻기 위한 방법으로는 MSS-MSS조합 뿐만 아니라, MSS-TM의 연구도 행해지고 있다. 그러나 SPOT을 이용한 검토는 입수할 수 있는 영상이 적다는 점과 처음 촬영된 시기부터의 기간이 짧다는 점 때문에 단기간의 변화를 제외한 해석에는 이용되고 있지 않다.
- ② 단일시기의 분류정밀도에 대해서는 SPOT>TM>MSS의 순으로 판독정밀도가 좋다 한다. 그러나 계산처리량에 대한 경비를 고려하면 이와 같은 결과가 최선이라고 할 수는 없다.
- ③ 두시기 영상에서의 경년변화추출은 실용적인 면에서 MSS-TM을 조합한 해석이 많이 행해지고 있고, 분류규모가 작은 것까지 높은 정밀도를 얻을 수 있다. 그러나 MSS-MSS에 의해서 분류되고 있는 구분에서는 큰 변화는 없고, 사례연구의 해석결과에서도 작은 변화를 추출하기에 어려운 것을 판독할 때에는 TM영상을 병용함으로써 보충할 수 있다. MSS영상의 채용은 TM영상과 비교하여, 분류규모의 크기가 다를수록 분류의 구분수에서 큰 변화는 적고, 기본적인 장애가 없다.
- ④ TM의 이용은 연구사례 등에서도 두시기의 비교를 Full Scene에 대해서 행하는 경우는 드물고 한정된 범위의 경우가 대부분이다. 또 광범위 지역을 대상으로 한 경우는 자료의 일부를 제거하는 등의 방법에 의해 계산량의 압축을 행한다. 결과적으로 영상으로서의 해상력을 얻기에 어려움이 많은 것이나 전국을 대상으로서 영상판독을 병행한 해석에서는 MSS-MSS는 적절하다고 고려된다.
- ⑤ 그러나 대도시권 근처 등, 토지이용변화규모가 작고 변화량이 많은 지역에서는 MSS-TM을 이용한 방법이 판독의 어려움을 해결할 수 있다는 점에서 우수하다고 고려된다.
- ⑥ 그 때문에 MSS-MSS를 원칙으로 하지만, 실시하는 면에서는 적절한 영상이 라면 MSS-TM을 고려하는 것도 필요하다고 사료된다.
- ⑦ 이와 관련하여 MSS-MSS의 계산처리시간과 비교하여, MSS-TM을 이용한 경우의 계산시간이 약 4배 요구되지만 영상판독상 과정의 증가에 따른 경비증가에도 불구하고 세밀한 분류가 요구될 경우에는 MSS-TM을 채용하는 것이 적절하다.

● 경년변화영상의 기간설정 검토

- ① MSS 자료는 1987년까지 촬영한 영상 중 구름의 양이 적은 영상을 계절별로 선정하였다. 변화후 자료는 현황과 일치하도록 주변의 자료가 요구되고 변화후 자료로는 일정기간 이상의 식생변화를 가능한 많이 추출하수 있도록 적어도 변화전 자료의 5년 이전의 것을 채용하는 것으로 한다.
- ② 이 리스트는 이용 가능한 영상을 예시한 것으로 경년변화기간은 최단 3년, 최장 8년으로 하고 있다.
- ③ 최단 3년의 경우, 경년변화 비교기간이 너무 짧기 때문에, ①식생변화량을 맞게 평가할

수 없고 ②오래전에 만들어진 식생도의 경우에는 통합정리하기 어려운 현상이 따른다. 장기간으로 다시 하는 것이 적절하다.

- ④ 경년변화 추출을 행하는 경우 매립지, 인공 나지(裸地)와 같은 변화는 변화후의 반사휘도에서 큰 변동이 생기지 않는다고 생각되지만, 벌채지와 같이 식생이 서서히 회복되고 있는 경우는 그 경년변화에 의해 반사휘도에서 변동이 생기고, 변화지역의 추출이 어렵게 되는 것도 있다.
- ⑤ 또 벌채지의 확인과 같은 경우, 음영부나 촬영계절에 따라 변화지 추출이 곤란하게 되는 경우도 있다. 더욱이 벌채후의 경과년수가 5-10년이 되는 경우에는 식생에 따른 반사휘도 변화가 음영이나 촬영계절의 어긋난 반사휘도 이상의 변화라면 이용이 어렵다.
- ⑥ 사례연구에서도 벌채 후 4-7년을 경과하여 식생회복이 양호한 경우에는 반사휘도차가 적게 되고, 경과변화로 보기 어렵다.
- ⑦ 이상과 같은 검토에 의해 이용하는 영상을 선정한 경우에는 경년변화기간을 5년 이상으로 하고, 되도록 많은 식생변화를 유출하도록 한다.
- ⑧ 기간을 5년 이상으로 한 것 중 벌채적지(跡地)처럼 식생회복에 따른 식생변화로 보여지지 않는 경우에도 일반적으로 영상에서 변화를 보이기 쉬운 5년 미만의 변화는 전국을 일률적으로 추출하는 것이 가능하도록 한다.
- ⑨ 또한, 인공나지나 골프장 건설과 같이 변화후의 식생변화가 적다고 여겨질 때는 기간을 5년 이상으로 함으로써 그 변화량을 되도록 많이 추출할 수 있도록 한다.

● 촬영계절의 검토

- ① 촬영시기는 상륙시기 내의 두시기가 되도록 동일 계절인 영상을 선택한다.
- ② 식생분류의 정밀도를 향상시키기 위해서는 촬영계절에 따른 식생의 반사휘도는 상륙기간에서도 큰 변화가 있으므로 촬영년도의 조건을 완화해도 두영상의 촬영시기는 동일 계절로 하도록 한다.
- ③ 지역에 따라 적설, 초본(풀), 낙엽수의 반사휘도 변화가 식생의 경년변화에 따라 반사휘도변화를 상회하는 것도 있기 때문에 이와 같은 경우는 판독자가 영상과 지역특성을 고려하면서 판별하는 것이 필요하다.
- ④ 또한, 사례연구에서 계절이 다른 영상에서 동일한 밴드를 이용한 경년변화영상은 동일한 계절을 이용한 결과와 오차가 적다는 것을 밝히고, 특히 밴드 4, 5는 밴드 6, 7과 비교하여 지형에 따른 일사량변화도 적고, 계절간 오차도 작다고 밝히고 있다.

2.3. 계산처리에 의한 해석

2.3.1. 계산처리방법의 개요

본토지역의 35지구에 대해서는 두시기의 MSS 자료를 이용하여, 경년변화영상을 작성한다. 작업은 다음의 4공정으로 나누어 행한다. 최종적으로 영상판독에 필요한 두시기 경년변화영상 및 보조영상을 작성한다.

- | | |
|-------------------|-----------|
| ① 지리보정 | ② 계산처리 |
| ③ 두시기 변화영상의 출력·인쇄 | ④ 보조영상 인쇄 |

2.3.2. 지리보정

두시기 영상자료를 연산하기 위해서는 지리보정을 한다. 보정방법은 구영상자료를 신영상자료에 합하도록 한다. 보정결과는 두시기 변화영상을 판독에서 이용할 수 있는 정도의 왜곡이내로 들어가도록 한다.

(해설)

● 지리보정

- ① 위성영상 자료는 촬영시 플랫폼의 자세변화 등에 의한 왜곡, 지세의 기복에 의한 왜곡 등이 포함되어있어, 경년변화 정보를 추출하기 위해 영상을 합성하는 경우 계산결과에서 오차가 발생하여 결과정보를 해독할 수 없는 것이 있다. 그래서 두시기의 영상을 해석할 수 있도록 왜곡을 보정한다.
- ② 일반적으로 이 보정방법으로는 (1)벌크처리 (2)정밀처리 (3)해양모드처리 (4) 정밀도 등록(registration)처리의 4가지 방법이 있지만, 본 요령에서는 간이보정방법으로써 두시기의 영상 중 한시기의 영상에 합하는 방법을 채용한다. 이 방법은 구영상 자료를 신영상 자료에 합하는 방법으로 보정한다.
- ③ 또 이 보정은 두시기 영상의 기준점의 수와 배치에 따라서도 정밀도가 변한다. 따라서, 기준점의 선정에서 다음과 같은 점에서 주의할 필요가 있다.
 - 기준점은 전체 영상에서 같은 형태로 분포되어야 하며, 수가 많을수록 좋지만, 배치가 양호한 경우에는 6~10점까지 감소되어 질 수 있다.
- ④ 통상 계산처리에 의한 분류시 영상의 위치 오차로 인해 계산결과에 오차가 발생하게 되나 본 요령에 의한 방법은 시각적으로 오차 발생을 인식할 수 있다는 점에서 오판독되지 않을 정도의 보정을 하는 방법이 경제적이다.

2.3. 계산처리에 의한 해석

2.3.1. 계산처리방법의 개요

본토지역의 35지구에 대해서는 두시기의 MSS 자료를 이용하여, 경년변화영상을 작성한다. 작업은 다음의 4공정으로 나누어 행한다. 최종적으로 영상판독에 필요한 두시기 경년변화영상 및 보조영상을 작성한다.

- | | |
|-------------------|-----------|
| ① 지리보정 | ② 계산처리 |
| ③ 두시기 변화영상의 출력·인쇄 | ④ 보조영상 인쇄 |

2.3.2. 지리보정

두시기 영상자료를 연산하기 위해서는 지리보정을 한다. 보정방법은 구영상자료를 신영상자료에 합하도록 한다. 보정결과는 두시기 변화영상을 판독에서 이용할 수 있는 정도의 왜곡이내로 들어가도록 한다.

(해설)

● 지리보정

- ① 위성영상 자료는 촬영시 플랫폼의 자세변화 등에 의한 왜곡, 지세의 기복에 의한 왜곡 등이 포함되어있어, 경년변화 정보를 추출하기 위해 영상을 합성하는 경우 계산결과에서 오차가 발생하여 결과정보를 해독할 수 없는 것이 있다. 그래서 두시기의 영상을 해석할 수 있도록 왜곡을 보정한다.
- ② 일반적으로 이 보정방법으로는 (1)벌크처리 (2)정밀처리 (3)해양모드처리 (4) 정밀도 등록(registration)처리의 4가지 방법이 있지만, 본 요령에서는 간이보정방법으로써 두시기의 영상 중 한시기의 영상에 합하는 방법을 채용한다. 이 방법은 구영상 자료를 신영상 자료에 합하는 방법으로 보정한다.
- ③ 또 이 보정은 두시기 영상의 기준점의 수와 배치에 따라서도 정밀도가 변한다. 따라서, 기준점의 선정에서 다음과 같은 점에서 주의할 필요가 있다.
 - 기준점은 전체 영상에서 같은 형태로 분포해야 한다.
 - 기준점은 수가 많을수록 좋지만, 배치가 양호한 경우에는 6~10점까지 감소되어 질 수 있다.
- ④ 통상 계산처리에 의한 분류시 영상의 위치 오차로 인해 계산결과에 오차가 발생하게 된다. 그러나 본 요령에 의한 방법은 시각적으로 오차 발생을 인식할 수 있다는 점에서 오판독이 되지 않을 정도의 보정을 하는 방법이 경제적이다.

2.3.3. 계산처리(두시기 영상의 합성과 출력)

계산처리에서의 사용한 밴드는 MSS의 밴드 5로써 중합에 의해 두시기의 변화영상을 작성한다. 변화영상의 출력은 구영상의 밴드 5를 청색으로 신영상의 밴드 5를 적색으로 발색시키고 2색 합성영상을 만든다.

계산처리단계에서는 사전에 항공사진정보 등에 의해 경년변화영상 추출의 최적조건이 되도록 각 영상을 조정한다. 이 합성에 따른 변화지역의 추출이 불충분한 경우는 다른 밴드 조합 혹은 다른 영상의 채용을 검토한다.

출력할 영상은 음화필름으로 하고, 원칙적으로는 1/100만으로 하지만, 분포지역의 형태에 따라 출력범위를 임의로 설정하는 것도 필요하다.

또, 음화필름으로부터 인화한 출력의 축척은 1/20만으로 한다.

(해설)

● 사용 밴드 검토

- ① MSS영상 혹은 TM영상에서 식생정보를 보다 확실하게 얻어지는 영역은 근적외 영역으로, 반사휘도의 차가 더욱 크다고 한다. 다음으로 가시광의 적색영역이 적당함에 따라, MSS의 경우는 밴드 7 과 밴드 5가 자주 사용되고 있다.
- ② 두시기의 비교영상을 만드는데는 여러 시기의 유효 밴드를 한정하여 계산처리하는 방법이 통상이고, 밴드 7/밴드 5의 비 영상을 작성하는 방법이 간편하다고 고려되고 있다.
- ③ 이 요령에서는 다시 간략화하기 위해서, 두시기의 밴드 5 간의 차에 의해 변화지를 추출한다. 밴드간의 변화에 따른 식생추출의 오차는 변화 후의 대상지가 벌채직후의 초지, 벌채 후 수년이 경과한 초지, 인공나지, 병충해 등에 의한 부분변화 등이 어떻게 되는가에 따라 밴드 특성이 다르다.
- ④ 사례연구에 의한 검토결과, 단일 밴드간의 합성에 의하면 밴드 4와 밴드 5의 반사휘도 차는 모두 밴드 7 보다 작지만, 식생변화에만 착안하면 비교변화는 통상적으로 추출하기 쉽다.
- ⑤ 밴드 4에 비교하여 밴드 5는 약간의 변화에서도 변화가 나타난다.
- ⑥ 밴드 6, 밴드 7은 식생변화를 나타내기 쉽지만, 일사량 변화가 크고, 두 밴드간에서만 의 경우는 오히려 식생변화정보를 잃어버리기 쉽다.
- ⑦ 또한 식생 해석에 자주 사용되는 VI(Vegetation Index)의 이용은 식생정보의 추출에서 우수하지만, 그 외의 오인정보의 포함과 판단자가 독취하기 어려운 것으로부터 전국을 확일적으로 작업하는 것이 반드시 양호한 수법이라고는 말하기 어렵다.
- ⑧ 주성분분석에 의한 중합은 식생정보를 강조하기 쉬운 제2주성분을 이용한다면 변화를 명료하게 표현하기 쉽다. 초지의 변화나 소규모 변화 등에서는 단일 밴드법보다도 우수하다.
- ⑨ 그러나, 이러한 수법은 계산처리에서 장기간을 필요로 한다는 점과 밴드 5의 비교법과 큰 변화가 없다는 점, 상세한 변화정보의 확인은 TM 영상에 의존한다는 점에서 생각하면 단일 밴드의 비교가 적절하다고 판단된다.

● 합성영상의 출력 검토

- ① 두시기의 합성영상은 식물이 감소한 변화지는 적색표시가 되고 변화가 없는 부분은 청색이 되어 사례연구의 결과로부터 검토한 것 또한 신영상의 정보를 보기 어렵게 된다.
- ② 신영상 자료를 강조하여 출력하면 변화지를 추출하기 쉽다. 역으로 신영상 자료의 반사휘도가 상대적으로 약하면 변화지 정보가 적게되어 판독에서 간과되기 쉽다.
- ③ 판독상 변화지가 과잉 추출되었다해도 식생도와 TM영상을 병용함으로써 일사량 등에 따른 통계적 왜곡의 오정보를 판독할 수 있다.

● 두시기 변화영상 작성

- ① MSS 영상은 TM 영상에 비해 해상력이 낮기 때문에 판독에서 가능한 원 자료의 해상력을 유지하는 것이 바람직하고 계산처리에서도 화소를 대상으로 하여 연산한다.
- ② 두시기변화의 영상작성을 위한 계산처리방법에는 본 요령의 방법 이외에도 자동분류에 의한 영상작성, 대화형식에 의한 분류영상작성이 있지만, 다음의 이유로 이와 같은 방법으로 정한다.
- ③ 국내 연구사례는 자동분류에 의한 방법이 대부분이고, 일부 연구사례나 토지이용판독과 같이 대화입력이 가능한 분야에서 대화형식에 의한 방법이 이용되고 있다.
- ④ 자동분류영상에 의한 광역의 해석사례는 몇몇 보고가 ‘무감독’, ‘간단한 계산처리’라는 조건하에서 식생도정보의 정밀도를 상회하는 경우는 거의 없으므로, 식생정보의 추출을 자동분류에 의한 방법은 곤란하다고 판단되었다.
- ⑤ 한편 식생의 경년변화는 기하보정, 분류규모가 고려되면 MSS-MSS의 차(差)영상에 의한 판독에 이용할 수 있는 영상을 작성할 수 있다.
- ⑥ 또한 최근연구에 의하면 해상력이 좋은 SPOT영상, TM영상을 이용해 식생도를 도화한다거나 변화정보를 추출하는 방법이 연구되고 있다. 이와 같은 방법은 식생도 자체에 포함된 정성적인 개념의 판독-적설, 계절성 등을 해석하기 위해서 복수영상의 사용이 불가결하다.
- ⑦ 대화형식에 의한 방법을 전국적인 규모로 행하기에는 해석기술자, 기자재의 제약이 더 해짐으로써, 정밀도, 경비상에 문제가 있어 이번의 경우는 응용하기에 곤란하다고 여겨진다.
- ⑧ 경년변화정보는 식생도 전체를 분류하는 것과 비교하고, 정보량을 압축할 수 있다는 점과 위성영상정보이외의 수단에 의해서 객관성이 높은 정보를 저렴하게 얻기가 어렵다는 점으로부터 위성영상에 의한 수법의 이점을 활용했다고도 말할 수 있다.

● 변화지역 추출 보정

- ① 벌채적지, 붕괴지, 매립지 등의 추출방법 검토는 그 규모와 변화후의 식생정보 등의 변화상황에 따라 분류정밀도가 달라진다고 보고되고 있다.
- ② 본 요령에서 채용한 방법은 상세한 벌채적지 등을 파악하기 위해서는 충분한 정밀도를 가지고 있지 않다고 고려되어진다.
- ③ 기하보정은 affine 변환정도의 보정에 의해서도 가능하고, 수 헥타르(ha) 규모의 식생 변화는 파악될 수 있다고 여겨진다. 그러나 도시부분에서는 지리적 왜곡에 의해 식생과 공지, 농경지가 혼재하고 있어, 판별할 수 없는 부분도 있다.
- ④ 지견(知見)수집 해석에 의하면, 영상해석방법도 그러한 반면 사용할 영상의 좋고, 나쁨에 따라 분류결과가 크게 달라진다고 사료되어 앞에서 기술한 바와 같이 이번에 채용한 판독수법에서는 변화지역의 추출영상만을 사용하지 않고 TM영상, 다른 계절의 보완영상을 병용함으로써 변화지역 추출의 보정을 하도록 하고 있다.

2.3.4. 보조영상 작성

판독의 보조로써 다음의 영상을 작성한다.

- ① MSS 영상 1/20만 출력
경년변화영상에서 비교대상으로 한 계절, 시기가 다른 영상, 적설·구름 등의 영향 제거, 식생의 변화, 경년변화의 중간단계의 조합에 이용한다.
- ② TM영상 1/10만 출력
판독결과를 이사하기 위한 배경도로 이용한다.
MSS의 신영상과 동일시기영상으로 하는 것을 원칙으로 한다.

(해석)

● 보조영상의 필요성

- ① 보조영상의 이용은 이 요령의 특징의 하나이다.
- ② 두시기의 MSS 경년변화영상은 경년변화정보를 많이 포함하고 있지만, 대상지역의 정보와 그 변화패턴의 특성은 한 시기 영상 정보에서는 불충분하다.
- ③ 그러므로 경년변화정보에서 한정된 지역의 변화에 주목하고 그 지역의 여러 정보를 중첩함으로써 판독정밀도를 높이는 것이 쉬워진다.
- ④ 사례연구에 의하면 한시기 정보에서는 판독되지 않는 경우도 두시기 이상의 정보중합으로써 변화패턴과 불확실한 경년변화를 확인하기 쉽다고 했다.

● 보조영상 자료

- ① 경제성을 고려, 보조영상은 필름을 입수하여 확대 출력한다.
- ② 1987년의 사례연구에 따르면 식생의 판독에서는 VI영상이나 강조영상, 보통영상에서 큰 차이가 확인되지 않았다. MSS 자료는 1/100만 양화필름, TM 자료는 1/50만 양화필름을 입수한다.

2.4. 간이수법에 의한 해석

2.4.1. 두시기 비교영상 작성

간이수법은 full scene의 해석이 필요치 않은 섬이나 본토의 주변부에 적용한다. 영상의 작성에서는 비교판독법과 사진처리법을 채용한다.

- ① 비교판독법 : 변화가 적지 않고 1/5만 지형도 1매 이하의 지역
- ② 사진처리법 : 변화량이 많고 1/5만 지형도 1매 이상의 지역

(해설)

● 간이수법은 비교판독법과 사진처리법을 채용한다.

- 위성영상자료 입수 : MSS 흑백 양화필름 full scene 1/100만

· 관독영상의 작성

(비교관독법)

MSS 흑백 양화필름(밴드 5)를 합성하고, 비교관독을 위한 천연색 합성영상을 작성한다.

(사진처리법)

MSS 흑백 양화필름을 이용한 사진처리로써 광학적으로 합성하고, 두시기의 변화지로부터 강조되는 영상을 작성한다.

범위가 넓은 경우는 왜곡보정을 하여 작성한다.

도시근교 등에서 변화량이 작고 많을 때는 새로운 자료로 TM을 이용한다.

2.4.2. 보조영상의 작성

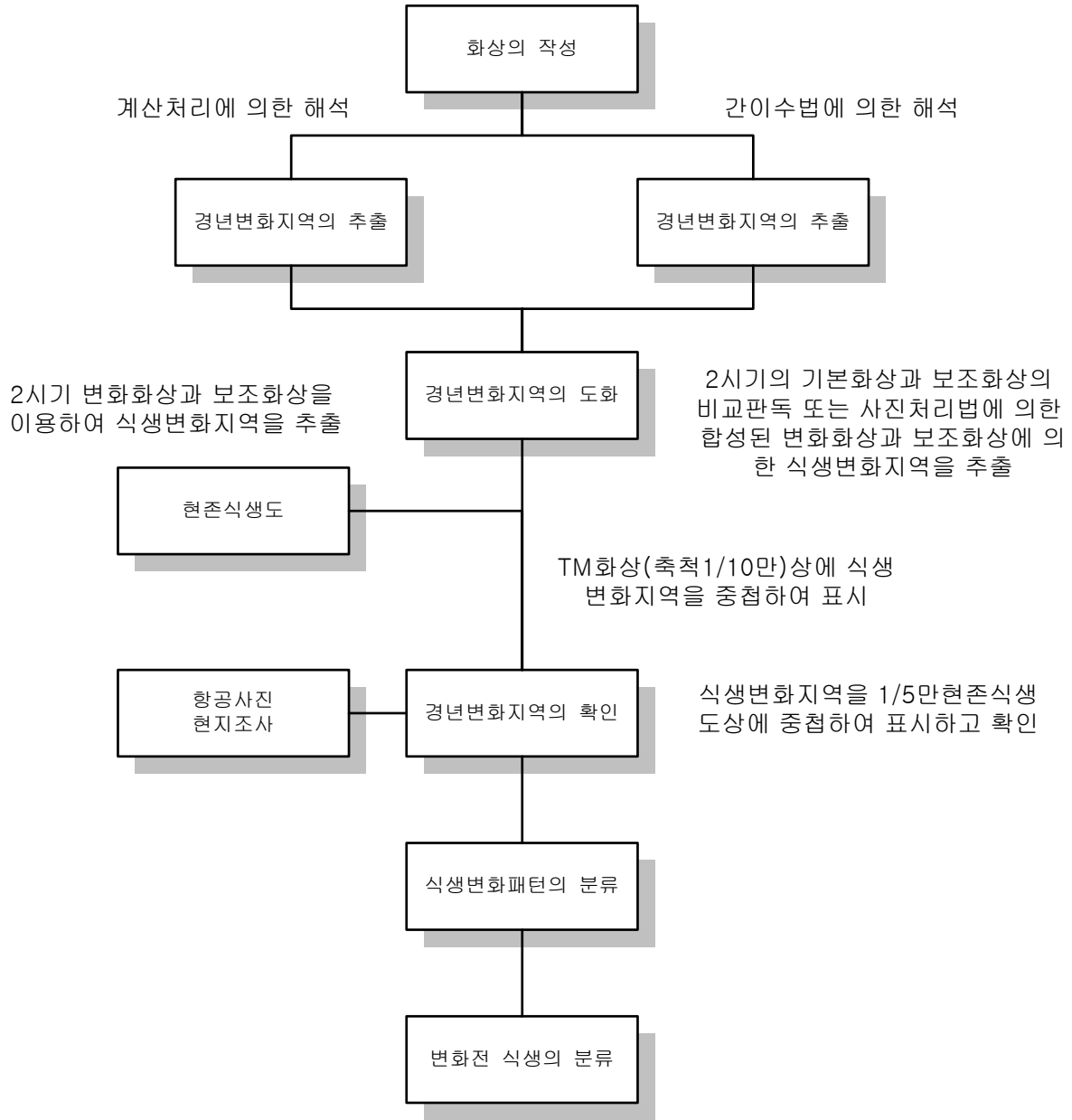
간이수법에서는 TM영상을 자료로써 이용하는 경우가 많으므로 보조영상은 계산처리법에 비해 화상수가 적다.

(해설)

- 작성방법은 계산처리에 의한 해석과 동일한 방법으로 한다.

3. 영상판독 방법

3.1. 영상판독 순서



< 부록그림 I-4 > 화상판독순서

(해설)

● 영상판독은 다음의 3공정의 작업으로 구분된다.

- ① 경년변화지역의 도화 : 두시기 변화 영상의 판독에 의해 TM영상에 식생변화지를 중첩한다.
- ② 경년변화지역의 확인 : TM영상에서 확인한 변화지역을 1/5만 현존식생도상 으로 옮겨서 그리고, 변화된 식생도상의 구분을 확인한다. 불명확한 곳은 현지확인, 항공사진을 통하여 보완한다.

- ③ 식생변화 패턴 과 변화전 식생의 분류 : TM영상에서 변화패턴을 독취하여, 변화전 식생을 식생도에서 상관(相觀)적 식생으로 분류한다.

3.2. 경년변화지역의 도화

본토지역 35지구에 대해서는 두시기 변화영상과 보조영상으로 식생변화를 추출한다. 또 도서지역 및 본토지역의 일부 16지구에 대해서는 두시기의 천연색 영상의 판독, 또는 사진처리법에 의해 합성한 경년변화영상 등을 이용하여 식생변화지를 시각적인 판독에 의해 추출한다.

추출된 식생의 경년변화지를 도시하기 위해서 축척 1/10만의 TM영상에 경년변화지를 중첩(overlay)한다. TM에서의 추출은 변화정보를 가능한 한 상세하게 독취한다. TM에서 확인한 범위를 구획하도록 주의한다.

여기서, 작업단위는 TM영상의 sub scene인 1/4 지역을 기준으로 한다.

경년변화영상만으로는 판독이 불충분한 곳에서는 보조영상을 이용하여 변화지를 추출한다. 보조영상은 다음과 같은 경우에 이용한다.

- ① 적설, 구름 등에 의한 피복
- ② 낙엽 등에 의해 정보를 얻기 어려운 지역
- ③ 그림자 등에 의해 정보를 얻기 어려운 지역
- ④ 판독내용이 불확실한 경우

(해설)

● 영상 판독에 관한 유의점

- ① 통상 영상해석은 자동분류에 의한 경우가 많다. 지질조사 등을 제외하고는 판독법을 이용하고 있는 예는 적지만, 토지이용의 경년변화 파악에서는 두시기영상의 비교판독이나 간단한 경년변화지의 추출영상을 판독하는 수법이 사용되고 있다. 영상판독에 있어서는 인공조성지나 매립지와 같은 변화는 명료하기 때문에 정성적인 판별에 의한 혼란은 적지만, 식생변화를 추출할 경우는 판독구분개념이 다양하기 때문에 판독기준의 획일화가 필요하다. 또 촬영계절 등은 계산처리에 의해 추출된 변화지가 변동하는 것을 고려해 추출정보의 저하가 예상되므로 본 요령에서는 변화지를 본래의 분포보다 많이 추출하여 판독단계에서 재확인하는 방법을 채용한다.
- ② 영상판독은 국외에서는 사업화가 많이 진행되어 있다. 이러한 경우에서 도입되어진 기술은 보다 선명하고 대축척의 영상을 작성할 수 있는 것이 있고 보통의 영상판독에 있어서 MSS영상은 1/20만 이상의 축척에서는 화소가 가진 해상력을 상회하지 못할 것으로 고려된다. TM영상은 1/10만정도에서, 해상도가 좋은 SPOT Pan. 영상의 경우에 1/5만 정도를 최대 축척으로 하는 것이 통례이다.
- ③ 또, 간편하게 영상작성을 하기 위해서 자료의 일부를 소거하는 방법을 채용되는 경우가 있지만, 영상판독에 있어서는 계산처리에 경비절감을 위한 자료 소거보다, 지리보정 등의 계산방법을 간략화하여 원정보량의 압축을 하지 않은 방법이 적당하다.

● 영상판독에서 보조영상의 활용

- ① 영상판독의 정보를 상회시키기 위해서 두시기 변화영상이외에 보조영상을 활용한다.
- ② 일반적으로 위성영상정보에서는 눈에 보이는 지표면 상태에 의해 판독이 가능한 규모의 식생 특징이 적고, 보통은 색농도에 의한다. 그 때문에 동일 농도의 대상물의 판정은 어렵기 때문에 여러색의 정보나 해상력이 좋은 TM 영상을 병용함으로써 불명확한 대상물을 수정하는 방법을 썼다.
- ③ 또 판독결과를 표시하기 위해서는 지물의 판정정확도가 높은 TM 영상을 확대하여 이용하는 것이 적당하다. MSS 영상에서는 도로나 점상 물체 등은 매몰되어 버리는 경우가 많지만, TM영상에 화상을 이사함으로써 추출가능하다.

● 항공사진·현지조사 등에 의한 보정

- ① 중요한 식생의 변화지나 대규모의 변화 혹은 불확실한 식생 구분과 변화의 영상판독은 후술한 것과 같이 다시 항공사진이나 현지 확인등에 의해 보완할 필요가 있다. 또 현지확인이나 새로운 항공사진도 없는 변화지는 경비행기에 의한 조사가 효과적이다.
- ② 이와 같은 방법은 넓은 영역인 경우에서도 필요한 조건이고 식생변화상황을 정확하게 파악함에 있어서도 중요하다.

● 영상판독의 트레이닝

- ① 식생의 영상판독은 국내에서 실용화하는 예가 드물기 때문에 기본적인 판독의 트레이닝이 필요하다.
- ② 특히 경년변화정보는 일정한 경향에서 변화가 보여지므로 1~2일의 간단한 트레이닝으로 정확도가 향상되어 분류되었다.

● 트레이닝용 항공사진, 현지조사의 활용

영상판독을 쉽게 하기 위해서는 1~3지구 정도에서 변화지의 항공사진, 예비판독이나 현지확인을 하는 방법을 트레이닝으로 한다.

3.3. 경년변화지역의 확인

TM영상에서 중첩 표시한 경년변화지는 기존의 축척 1/5만의 현존식생도의 도엽단위로 변화의 범위를 확인한다.

경년변화의 정보는 축척 1/5만 현존식생도상에 표시한다.

위성영상정보에서 불확실한 정보나 중요한 변화는 항공사진이나 현지조사로 보완한다.

(해설)

● 경년변화지역의 확인

- ① TM영상에서 식생도에 화상을 옮기는 경우에는 식생판독의 기본지식이 필요하다.
- ② 민간회사의 시행작업에서도 두시기 변화영상에서 TM영상에서 이사하는 경우는 식생판독 지식이 많이 필요치 않지만, 식생도에서 이사에서는 식생변화현상과 꼭 맞지 않아 변화에서 제외되는 예가 보였다. 이것은 식생변화정보가 대상으로 하는 식생의 종류, 경사, 방위와 같은 지형의 영향에 의해 왜곡되어지므로 이사, 판독시에서 수정할 필요가 있다. 더욱이 식생도에서 직접 화상을 옮기는 것은 어려운 경우에는 지형도상에서 한번 이사하는 방법을 이용한다.

● 중요한 식생의 확인

변화지의 이사시, 아고산대, 고산대 식생, 그 외 자연 식생은 특히 주의해야 한다. MSS영상에 변화정보로 도시(圖示)되어 있지 않아도 TM영상에서 변화가 있다고 여겨질 때에는 그 변화를 확인하는 것이 필요하다.

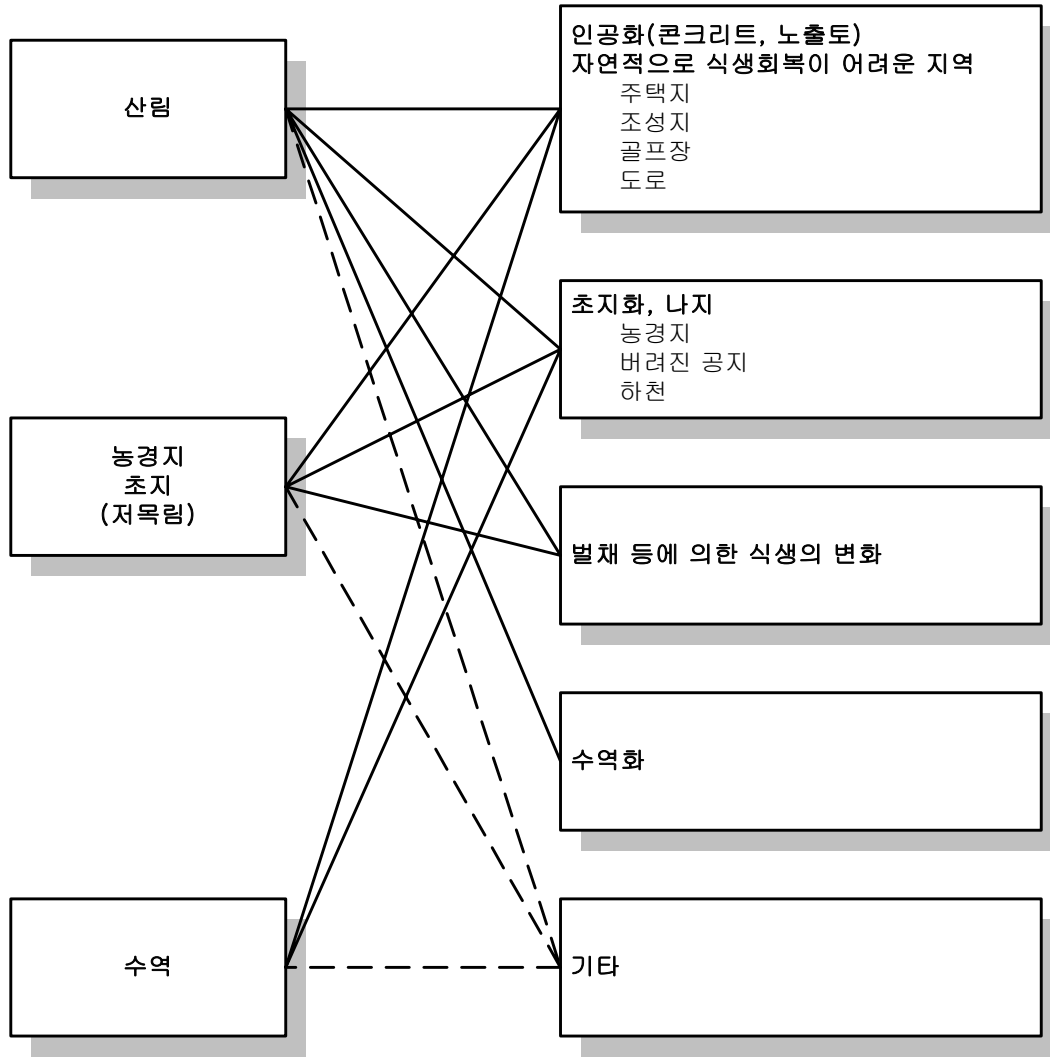
3.4. 식생변화의 패턴과 변화전 식생의 분류

식생의 경년변화 특성에서 반드시 변화패턴과 변화전 식생에서의 분류가 행해진다.

(해설)

● 식생변화의 패턴과 변화전 식생의 분류

- ① 단기간에 발생하는 식생변화를 변화의 특성에 따라 패턴분류한다. 식생조사에서는 변화전의 식생과 변화지 주변의 식생상황은 중요한 정보이고, 이러한 패턴은 인공적 변화와 자연적 변화로 개략 분류한다.
- ② 패턴분류는 변화가 나타나는지 아닌지 판정하는 것이 중요하고, 영상정보에서 확인할 수 있을 정도가 좋다. 차후 실시할 식생조사에 이용할 때는 토지이용변화와 같은 것과 그것에 없는 것을 파악하고 두드러진 변화에 착안할 것을 목적으로 한다.



< 부록그림 I-5 > 변화패턴의 분류기준

4. 결과 표현 방법

4.1. 전국 식생변화현황도 작성

식생변화지는 축척 1/5만 현존식생도에 중첩(overlay)하고, 변화패턴 분류결과도 같이 표시한다.

(해설)

● 식생변화현황도 작성방법

1/5만 식생도를 중첩함으로써 활용 가능하도록 표시한다. 변화지역은 번호를 붙여 조사표와 일치시킨다.

4.2. 변화현황 집계

변화정보는 또한 전국행정구역에 대해 변화량으로써 정리하고, 제 3회 조사시의 집계치와 비교하여 각각의 식생구분에서 개략적인 변화량을 구한다.

변화지는 행정구와 지형도엽 각각에 번호를 붙여 변화전식생, 변화패턴, 변화면적에 대한 일람표를 작성하고, 집계한다.

집계단위는 다음에 따른다.

- ① 현존식생도엽별 식생변화현황 집계
- ② 전국행정구역별 식생변화현황 집계

(해설)

● 변화현황 집계

변화현황의 집계는 이하에서 나타난 것과 같이 현존식생도엽별 변화지 일람표, 현존식생도엽별 식생변화현황 집계표, 전국행정구역별 식생개현현황 집계표, 전국행정구역 변화규모별 일람표 등에 따라 종합 정리한다.

4.3. 식생조사 및 식생도 수정을 위한 제공자료의 정리

식생조사에서의 제공자료는 다음과 같이 정리한다.

- ① 변화현황의 집계결과에서 대규모의 변화지나 중요한 식생변화지를 추출한다.
- ② 이러한 성과를 이용하여 식생조사가 필요한 곳을 전국 행정구역단위로 정리하고 그와 동시에 상관구역단위로 변화량을 집계하여, 전국적인 식생변화현황을 정리한다.
- ③ 이전 방법에 따른 전국행정구역별 식생조사는 이 조사결과에 기초한 변화지역 면적이 큰 지점, 중요한 식생이 변화한 지점 등에 대한 식생조사를 실시함에 있어 참고한다.
- ④ 식생도 수정자료로써는 두시기의 변화영상, TM영상이 유용한 자료이고, 상관식생의 분류에 이용할 수 있다.
- ⑤ 식생도는 요령에 기초하여 추출했다. 경년변화 이전의 변화가 불명확한 장소가 있고 이와 같은 경우에는 TM영상에서의 정보를 이용할 수 있다.
- ⑥ 특히 식생의 영구변화(식생이 복원되지 않는 변화)가 이루어지는 장소는 영상정보에 의한 수정이 유효하다.

(해설)

● 중요한 식생지

중요한 식생지는 다음과 같은 경우에서도 가정한다.

- ① 식생자연도가 9, 10을 연속하는 지역내에서의 변화
- ② 식생자연도는 중(中)정도이고, 이후 현존식생변화의 예상되어지는 지역
- ③ 식생자연도는 낮지만, 변화량이 많은 지역

부록 2 : 토지피복분류결과 및 정확도 검증

본 부록에 설명되어 있는 것은 1998년도의 “생태자연도 작성 및 활용을 위한 원격탐사기법연구 I : 토지피복분류도 작성을 중심으로”의 적용으로 환경부에서 발주한 “인공위성영상 자료를 이용한 토지피복분류”의 최종결과를 요약한 것이다. 여기서 도출된 산림지역을 좀더 세부적으로 분류하는 것이 금년도 과제의 목적이다.

1. 토지피복분류 결과

1.1. 연구대상지역 및 자료

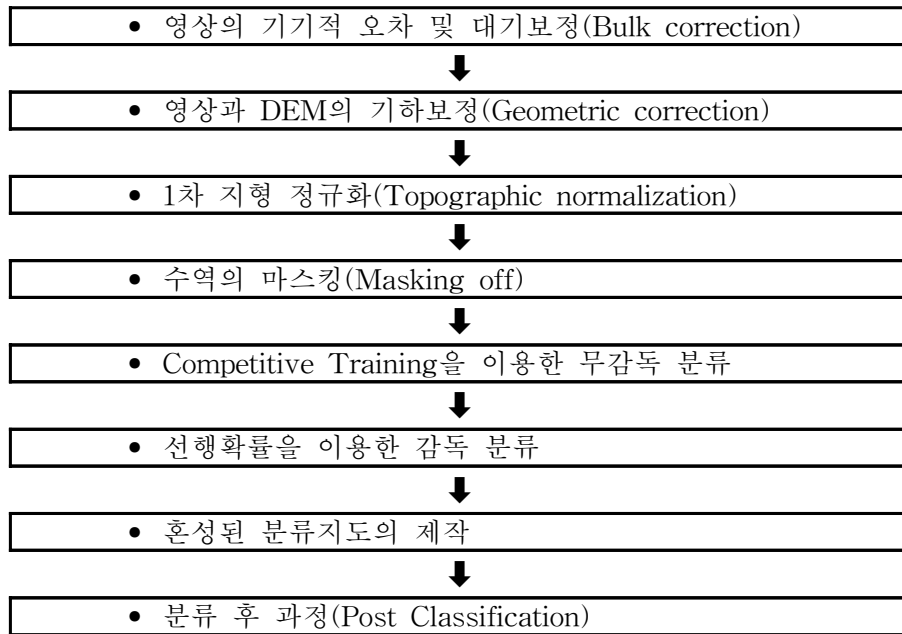
1차 토지피복 항목의 분류방법 결정을 위한 연구 대상 지역은 경상남도 창령군, 의령군, 함안군의 접합지역으로 Landsat TM 114-36영상의 좌상부에 위치한 지역이다. 이 지역은 낙동강이 흐르며 주 피복현황은 산림지역과, 경작지로 구성되어 있으며, 산림지역은 활엽수림, 혼효림이 우세하고, 경작지는 주로 논으로 구성되어 있다. 이 지역에서 시가화건조지역은 확장되고 있고 경작지와 인접해 있다. 수역은 낙동강과 다수의 저수지로 있으며, 늪지역이 많이 산재해 있다.

분석에 이용된 자료는 아래와 같다.

- Landsat TM 114-36 지역의 Subsense
 - 촬영일자: 1997년 5월 17일
 - 태양 고도각(Sun elevation angle) : 61.
 - 태양 방위각(Sun azimuth angle) : 116.
- 30m 해상도의 수치표고모형
 - 국립지리원 1:50000 남지지역(NI 52-2-17)의 수치지도를 이용해 생성
- 참조 자료로는 지형도를 이용

1.2. 분류절차

자료처리를 위해서는 Image Analysis 원격탐사 이미지 처리 프로그램과 MGE GIS프로그램을 이용하였다. 작업 순서는 다음과 같다.



< 부록그림 II-1 > 분류과정도

1.2.1. 영상의 기기적 오차 및 대기 보정

Landsat TM 센서에는 파장대당 16개의 탐지기(Detector)를 가지고 있다. 각각의 탐지기는 방사신호를 디지털 신호로 선형 변환하는데 있어 조금씩 다른 변환특성을 가진다. 이러한 기기적 원인에 의한 Striping현상과 Banding현상 등은 푸리에 변환(Fast Fourier Transform; FFT)등의 노이즈 제거방법을 이용하여 제거되어야 한다. 그리고 대기의 산란과 흡수에 대한 영향이 문제시된다고 판단될 때는 근사적인 방법을 통해 보정을 실시한다. 이러한 근사적 보정(Bulk correction)은 각 밴드에서 일정한 보정량을 차감해 주는 방법을 통하여 수행된다.

본 연구에서는 적외선(4번) 밴드에서 깨끗한 수역의 밝기 값을 대기의 영향으로 증가된 보정량으로 판단하여 각 밴드별로 적외선 밴드와의 비교를 통해 밴드별 보정량을 결정하여 차감하였다.

1.2.2. 영상과 DEM의 기하 보정

기하 보정이란 위성영상에 존재하는 다양한 종류(위성의 고도 및 궤도의 변화, 지구의 운동, 과노라마 효과 등)의 왜곡을 보정하고, 인공위성영상을 일반 지형도에서 사용된 지도투영법과 일치할 수 있도록 하는 변환을 말한다. 지상 조정점(Ground control point; GCP)을 이용하여 위성영상의 RMS(Root mean square) 오차를 0.5화소(15m) 이내로 조정하였고 생성된 DEM과 영상의 RMS 오차는 1화소 이내로 하였다. 변환은 저차의 Affine 선형보간을 이용하였으며 단순선택법(Simple choice methods)중 Nearest neighborhood방법으로 DEM의 해상도와 동일한 30m 공간해상도로 재배열(Resampling)을 실시하였다.

1.2.3. 1차 지형 정규화(Topographic Normalization)

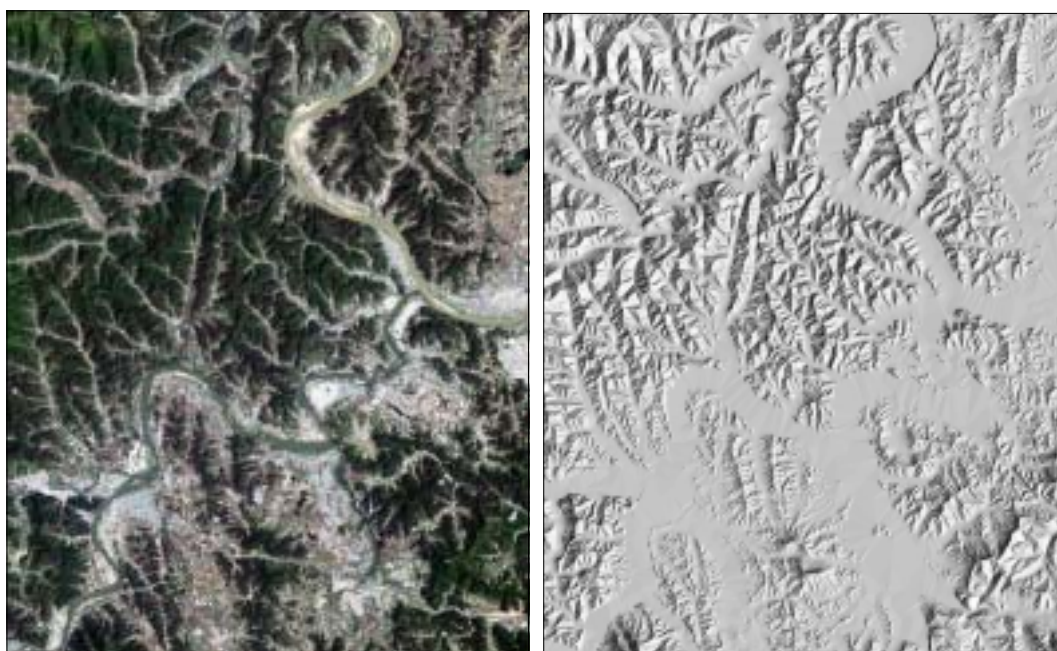
지형에 의한 그림자 효과를 제거하기 위하여 1단계 작업으로 DEM과 위성 촬영시기의 천문정보를 이용하여 0~255 사이의 값을 가지는 음영기복도를 생산하였으며, 이를 활용하여 1차 정규화된 영상을 생산하였다. < 부록표 II-1 >은 전체 연구지역 영상에 대한 평균과 표준편차 변화를 나타낸 것이다.< 부록표 II-1 > 연구지역 Landsat Image의 평균과 표준편차

| Band | Raw data | | Bulk corrected data | | 1차 지형 정규화 data | |
|------|----------|----------|---------------------|----------|----------------|----------|
| | μ | σ | μ | σ | μ | σ |
| 1 | 89.3 | 13.29 | 24.3 | 18.22 | 23.0 | 17.20 |
| 2 | 38.1 | 8.16 | 14.6 | 8.93 | 13.7 | 8.39 |
| 3 | 56.5 | 20.51 | 30.1 | 23.2 | 28.6 | 21.93 |
| 4 | 124.5 | 31.99 | 114.0 | 34.52 | 112.3 | 35.34 |
| 5 | 113.3 | 33.22 | 105.0 | 35.12 | 102.9 | 33.39 |
| 7 | 33.9 | 15.07 | 30.3 | 15.47 | 29.2 | 14.54 |

주 : μ = overall scene mean (n=643,505 pixel)

σ = overall scene standard deviation

< 부록표 II-1 >에 의하면 bulk correction된 영상의 평균과 표준 편차는 1차 정규화되면서 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 지형 정규화의 영향으로 그림자 영역의 밝기 값은 다소 증가되고 밝은 사면의 밝기 값은 상대적으로 감소하기 때문이다. < 부록그림 II-2 >는 지형 정규화에 이용된 음영기복도 이고 < 부록그림 II-2 >는 1차 지형 정규화 이전과 이후의 영상의 밝기 값 변화를 비교하여 나타낸 영상이다.



(a) 연구지역의 천연색 위성영상 (b) 음영기복도($\theta_o = 29^\circ$, $\psi_n = 116^\circ$.)

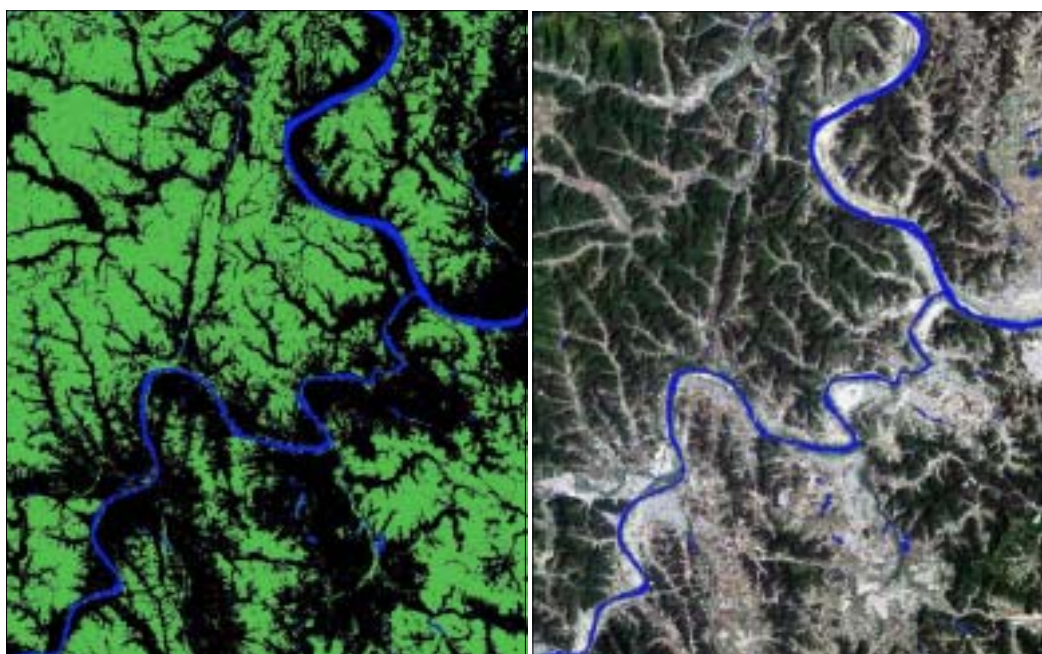
< 부록그림 II-2 > 연구대상지역과 지형정규화에 이용된 음영기복도



(a) 원 영상 (b) 1차 지형 정규화 이후
 < 부록그림 II-3 > 1차 지형정규화 이전과 이후의 영상의 밝기값 변화

1.2.4. 수역의 마스킹(Masking Off)

수역은 일반적으로 분류가 잘되나 해안 지방과 같이 수역이 많이 존재하는 지역의 히스토그램은 bimodal 분포를 이루게 되어 분류에 부정적 영향을 미치게 된다. 따라서 Landsat TM 영상의 적외선(4번) 밴드를 이용하여 수역을 마스킹 처리한 후 나머지 지역에 대하여 분류를 실시한다. < 부록그림 II-4 >는 마스킹에 이용되는 수역 지역을 나타낸 그림이다.



(a) Masking 이용된 레이어 (b) Masking된 영상
 < 부록그림 II-4 > 마스킹에 이용되는 수역

1.2.5. Competitive Training을 이용한 무감독 분류

분류에서 사용된 무감독 분류방법인 Competitive Training은 IA에서 가장 정교한 Training방법으로 Competitive Training에서 사용되는 알고리즘은 Simple Competitive Learning Network이라는 자동편제기능(Self-organizing property)을 갖춘 인공신경망(Artificial Neural Network)의 한 유형에 근거한다. 기본 입력 매개변수는 군집의 수와 반복 횟수(Iteration)이다. 평균은 각 군집의 각 밴드마다 0과 1사이의 무작위 수로 초기화한다. 평균은 모든 화소표본(Pixel Sample)에 대하여 다음의 (부록식 1)을 적용하여 갱신한다.

$$\text{평균}(t+1) = \text{평균}(t) + \Delta \times (\text{표본} - \text{평균}(t)) \quad (\text{부록식 1})$$

여기서 Δ 는 반복횟수에 따라 단조롭게 감소한다.

이러한 갱신은 한번 반복될 때마다 두 번씩 이루어진다. 그러므로 평균은 표본화된 자료를 훌륭히 표현한다. 군집간의 평균은 무작위 초기화에 의한 약간의 변화가 있지만 매우 촘촘히 밀집된다. 알고리즘의 Competitive부분은 반복횟수의 중간 이후에 적용되어지며, 각 군집의 각 화소표본에 대한 Distance Measure가 산출된다. 가장 가까운 군집의 평균은 위의 공식에 의하여 산출되며, 이 가장 가까운 군집은 경쟁에서 이겼다고 할 수 있기 때문에 Competitive Training이라 일컬어진다. Training의 종료 후, 두 번 이상 이기지 못한 모든 군집들은 삭제된다. 삭제되지 않고 남은 군집은 각각의 승수(Win-counts)와 함께 표시된다. 이때 사용자는 한계치(Threshold)를 적용하여 승수가 낮은 군집들을 삭제시킬 수 있다. 최단거리에 근거하여 남은 군집은 각 화소에 할당된다. 만약 군집이 5화소 미만 일 경우, 그 군집은 삭제되고 남은 군집들과 통계결과만이 저장된다. < 부록그림 II-5 >의 (a)는 전체 연구지역의 1차 지형 정규화된 영상에 대하여 18개의 군집과 30회의 반복회수를 가진 Competitive Training과 Maximum-likelihood 군집화를 이용한 무감독 분류 결과이다. 농업지역과 활엽수림의 일부는 녹지, 초지로 오분류 되었고 시가화건조지역은 농업지역 일부와 분류의 혼동이 되었다. 그리고 산림지역에서는 침엽수, 활엽수, 혼효림의 경계가 대체로 잘 나타났다. 이 무감독 분류 결과는 감독분류를 위한 참조자료로 이용될 것이다.

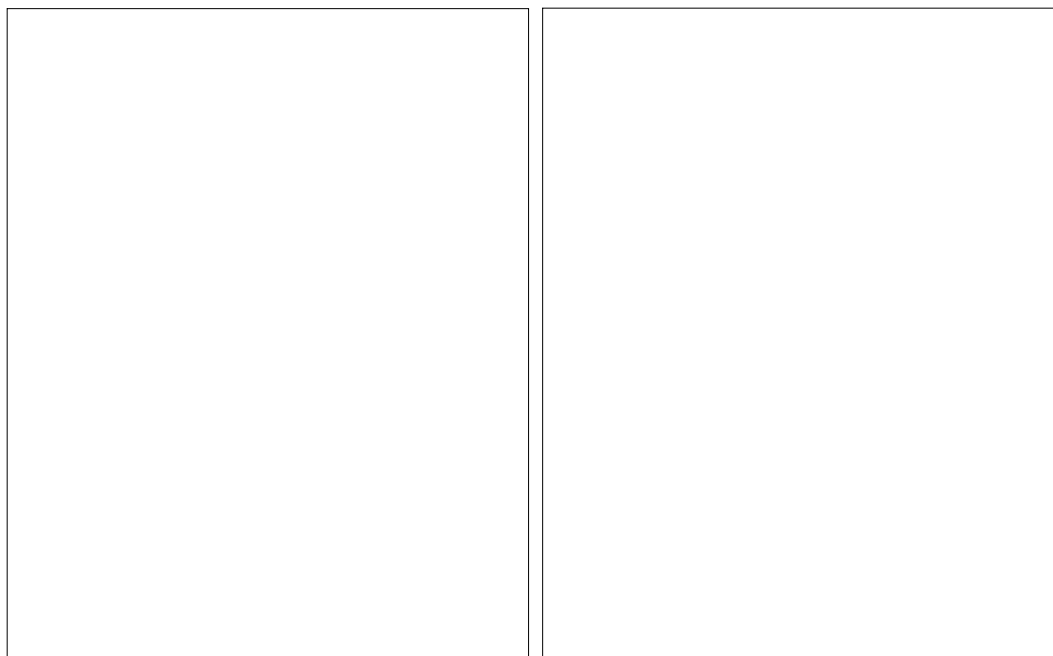
1.2.6. 선행확률(Prior probability)을 이용한 감독 분류

감독 분류에서는 비 매개변수 분류 방법의 장점을 도입하기 위하여 선행확률의 계산이 필요하다. 선행확률은 참조자료를 이용하여 균질한 분광특성을 나타내는 지역을 Training 지역으로 선정하여 (부록식 2)에 의해 계산된다. < 부록표 II-2 >는 7개 분류 항목에 대한 선행확률을 나타낸다.

< 부록표 II-2 > Training 지역의 선행확률(Prior probability)

| | 수역 | 습지 | 시가화 건조지역 | 나지 | 농업 지역 | 침엽수림 | 활엽수림 | 혼효림 | 합 |
|----------------|-------|-------|-------------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| 바르게 분류된 화소수 | 1,714 | 144 | 169 | 31 | 376 | 467 | 906 | 94 | 3,901 |
| 전체 화소 | 1,906 | 156 | 182 | 35 | 413 | 585 | 1,209 | 121 | 4,607 |
| 선행확률(P) | 0.372 | 0.031 | 0.037 | 0.007 | 0.082 | 0.101 | 0.197 | 0.020 | 0.847 |

< 부록그림 II-5 >의 (b)는 선행확률을 이용한 감독 분류의 결과이다. 이 그림에서 시가화건조지역은 농업지역과 명확히 구분되며 그 경계가 잘 드러나 있다. 무감독 분류에서 일어나는 오분류는 상당량 감소되었으나 미분류 지역의 증가로 인한 추가 수정작업의 양이 증대된다.



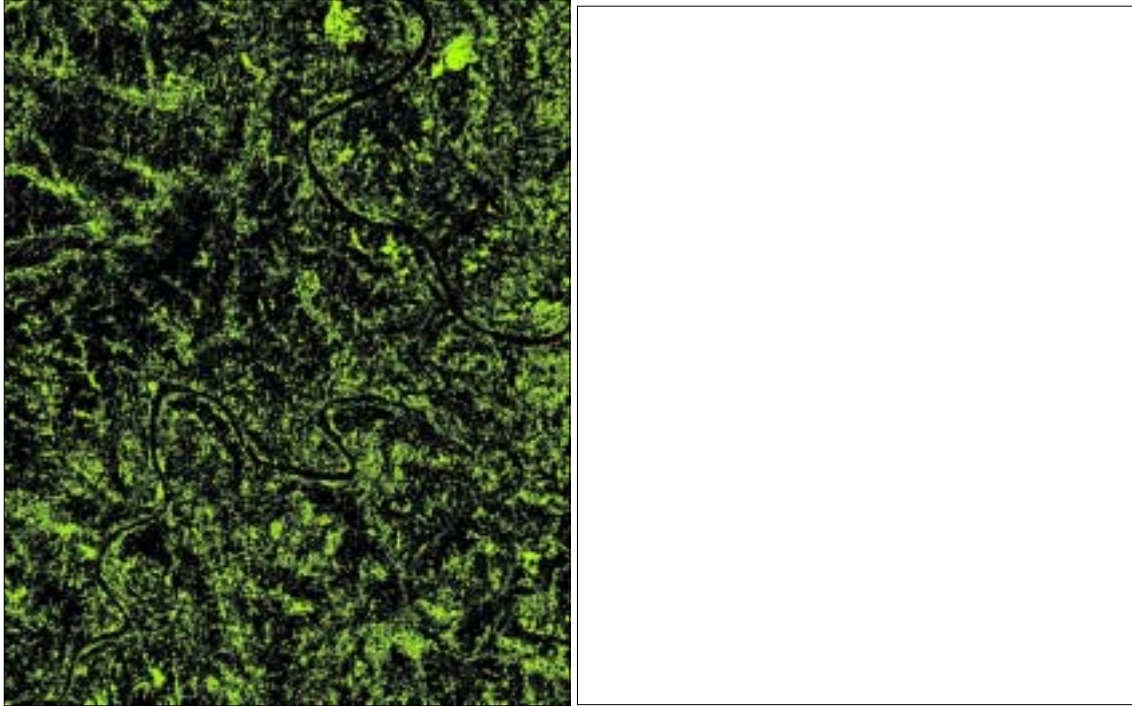
(a) 무감독 분류

(b) 선행확률을 이용한 감독분류

< 부록그림 II-5 > 연구지역의 분류 방법별 분류 결과

1.2.7. 혼성된 분류지도(Hybrid Classification Map)의 제작

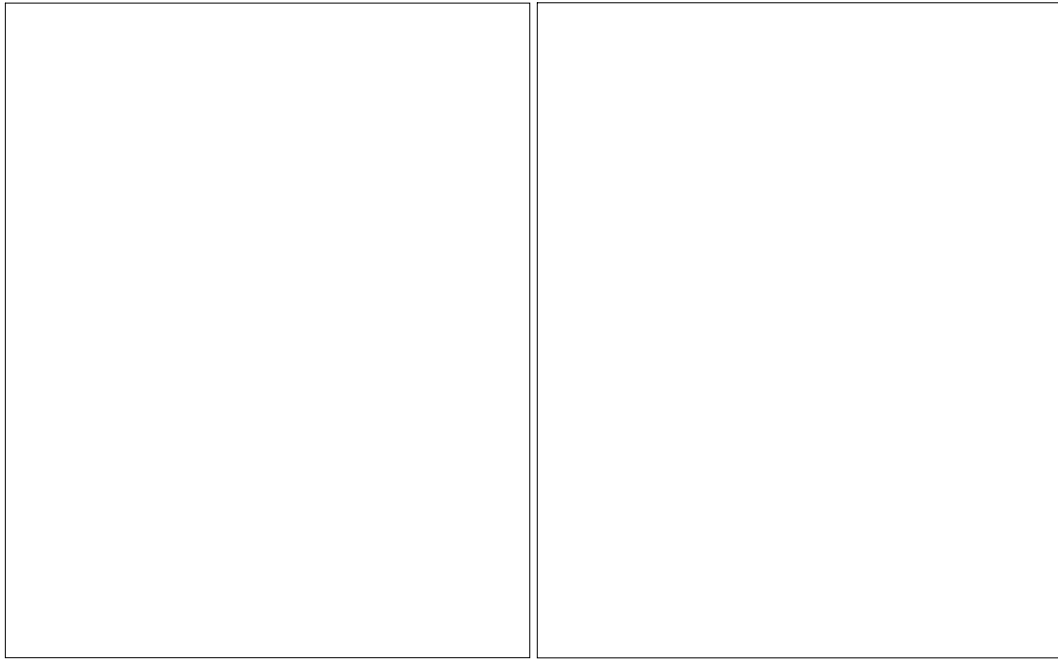
감독 분류에서 미분류된 지역은 무감독 분류 결과와의 중첩연산으로 감독분류 결과에 포함될 수 있다. 무감독 분류인 Competitive Training은 미분류된 지역만을 이용하여 원하는 수만큼의 군집을 형성 가능하게 한다. 따라서 이 두 분류결과를 이용하여 혼성된 결과를 제작할 필요성이 있다. 혼성된 분류결과는 참조 자료를 이용하여 검증되어야 한다. 본 연구에서는 미분류지역에 대하여 재분류를 실시하여 혼성된 분류결과를 얻고 중첩으로 인한 오분류 지역을 수정하였다. < 부록그림 II-6 >은 Masking 지역으로 이용될 감독분류의 미분류지역과 Competitive Training과 Para-ML 군집화를 통해 구해진 무감독 분류 결과이다. < 부록그림 II-6 >의 (b)에서는 대체적으로 분류 항목들을 잘 나타낸다. 그러나 하늘색으로 나타난 나지 항목 중 일부는 비닐하우스 지역으로 농업지역으로 수정되어야 한다.



(a) 감독분류시 미분류 지역 (b) 미분류지역의 무감독 분류 결과
 < 부록그림 II-6 > Competitive Training과 Para-ML를 이용한 무감독분류결과

1.2.8. 분류 후 과정(Post Classification)

분류 결과에 여전히 남아 있는 미분류 지역과 오분류 지역을 제거하는 작업을 통하여 원하는 전체 정확도(Overall accuracy)이상의 분류 결과물을 생성할 수 있다. 넓은 면적의 미분류 지역은 참조자료를 이용하여 작업자가 직접 수정하고 작은 수의 화소들로 나타나는 지역은 Low pass 필터 등을 이용하여 제거한다. 오분류 지역 중 위치가 명확한 부분은 작업자에 의해 수정 가능하다. 전체 정확도를 만족하기 위해서 무작위로 샘플링 된 지역의 분류 결과를 참조자료나 현장방문을 통하여 확인하여 수정 보완하는 반복 작업을 실시한다. < 부록그림 II-7 >은 혼성된 분류지도와 분류 후 과정을 거쳐 최종적으로 생성된 피복 분류 결과이다. 여기서는 강기슭지역에 위치한 대규모 비닐하우스 경작지역이 나지로 나타나게 되는 지역, 활엽수림 항목에서 녹지, 초지로 포함되는 지역을 참조자료를 이용하여 찾아내어 수정하였다.



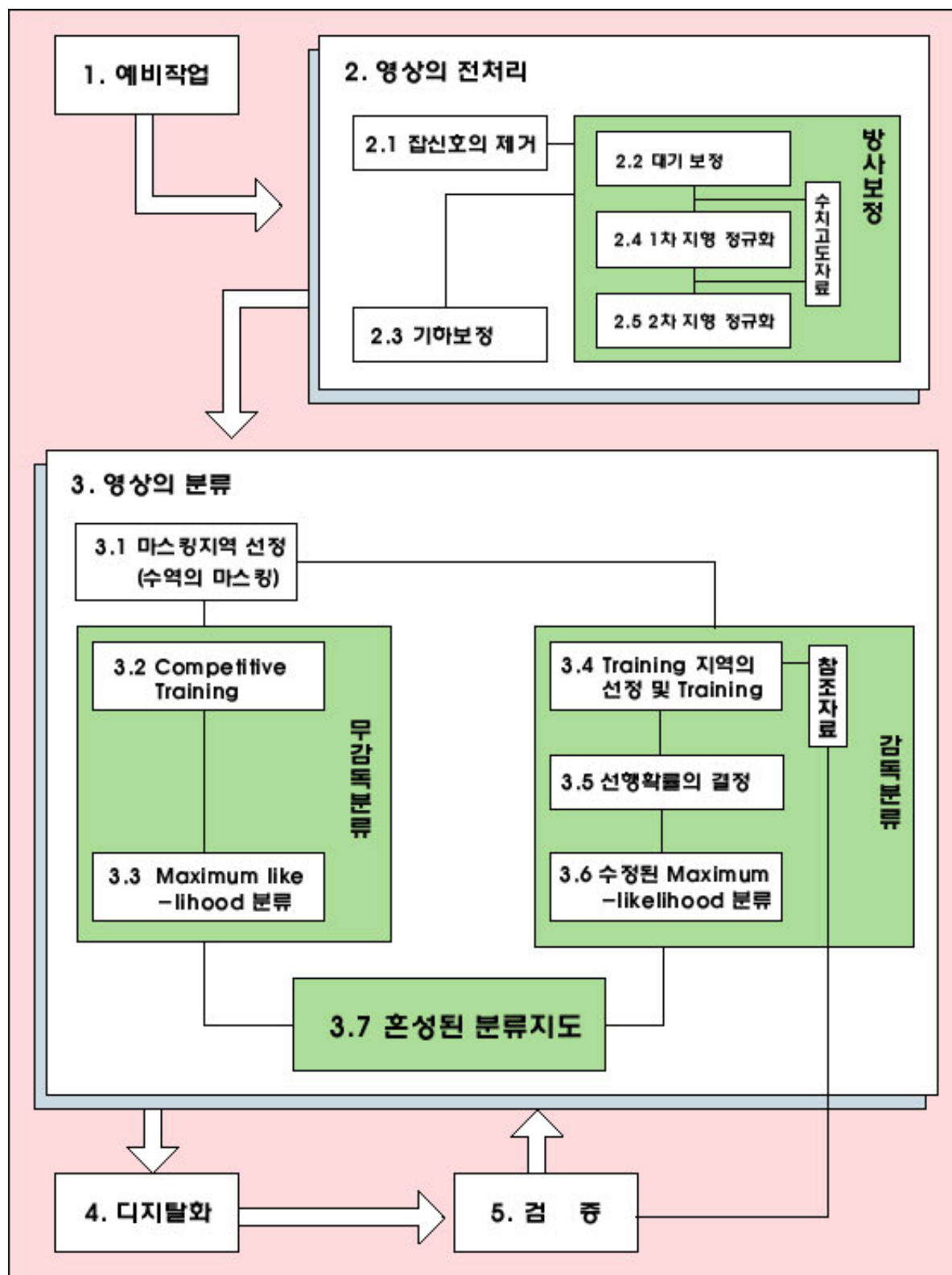
(a) 혼성된 분류 결과

(b) 최종 피복 분류 결과

< 부록그림 Ⅱ-7 > 혼성된 분류지도와 최종적으로 생성된 피복 분류 결과

1.3. 분류 방법론

연구대상지역에 대한 방법론의 적용 결과를 통하여 < 부록그림 Ⅱ-8 >과 같은 토지 피복 분류 방법을 제안한다.



< 부록그림 Ⅱ-8 > 토지피복분류방법론

2. 정확도 검증

2.1. 평가방법 적용 및 분석

1차분류 결과물의 정확도 평가는 트레이닝 영역을 정확도 평가에 사용한 경우, 트레이닝 영역의 일부를 사용하지 않고 이를 정확도 평가에 사용한 경우, 계통적 층화추출법을 사용하여 정확도를 평가하는 3가지 방법으로 정확도를 평가하였다.

2.1.1. 트레이닝 영역을 정확도 평가에 사용한 경우

경로가 [Path : 116 Row : 34]인 TM영상을 MLC standard 기법으로 분류한 후 그 분류 결과를 감독 분류시 사용한 트레이닝 영역만으로 정확도 평가를 한 결과 전체 정확도는 96.436%, Kappa 계수는 0.942가 되었다. 이론적 연구에서 언급한 바와 마찬가지로 분류정확도가 매우 높게 나오는 경향이 있음을 확인할 수 있었다.

2.1.2. 일부영역은 트레이닝에 사용하고 일부는 정확도 평가에 사용한 경우

경로가 [Path : 116 Row : 34]인 TM영상을 MLC standard 기법으로 분류한 후 그 분류 결과를 트레이닝 선정시 선택한 영역들 중의 일부영역으로 정확도 평가를 한 결과 전체 정확도는 95.349%, Kappa 계수는 0.918이 되었으며, 경로가 [Path : 116 Row : 35]인 영상은 정확도 평가 결과 전체 정확도는 91.094%, Kappa 계수는 0.888이다. 이 방법 역시 정확도가 매우 높게 나왔으며, 편이가 발생할 가능성이 높다. 앞에서 언급한 트레이닝 영역만으로 계산한 정확도 평가 결과보다는 수치가 조금 줄었음을 확인할 수 있다.

2.1.3. 대상지역에 대해 계통적 표본추출방법을 사용하여 정확도를 평가한 경우

지형지물 속성분류의 정확도 평가에서 일반적으로 사용하는 표본 추출방법은 대상 지역 전체에 대한 계통적 표본추출이다. 이 계통적 표본추출 방법이 많이 사용되는 이유는 주로 효율성과 편리성에 기인한다. 이런 계통적 표본추출 방법에 의해 얻어진 표본들은 그 평가 방법에 따라 여러 많은 기법들로 분석이 가능하게 된다. 즉, 앞에서 언급한 바와 같이 일반적으로 사용하는 오분류 행렬을 이용한 전체 정확도, 사용자 정확도, 제작자 정확도와 Kappa 계수의 산출을 계산할 수 있다.

정확도평가를 위해 사용된 지역은 크게 네 지역이다. 첫째 지역은 시가화 건조지가 많은 곳으로 1:25,000 도엽으로 서울, 안양, 성동, 둔전에 걸치는 지역이다. 둘째 지역은 산림이 많이 분포한 곳으로, 임당, 서화, 용하, 인제지역이다. 셋째 지역은 수계가 많은 곳으로, 대야, 보령, 원산도, 대천지역이다. 넷째 지역은 경작지가 많은 곳으로, 대합, 창영, 남지, 영산에 걸치는 지역이다. 각 지역에서의 reference data는 500m 간격의 격자형으로 취득하였으며, 지역 별로 약 2,000여 점을 선정하여 그 속성을 기록하였다. 네 지역 모두를 합하여 사용된 reference data의 개수는 8551개이다. 분류결과 검증에 사용된 지역은 아래의 < 부록그림 II-9~12 >와 같다. 각 지역의 분류정확도 평가를 위해 취득한 reference data의 개수는 다음의 < 부록표 II-3 >과 같다.

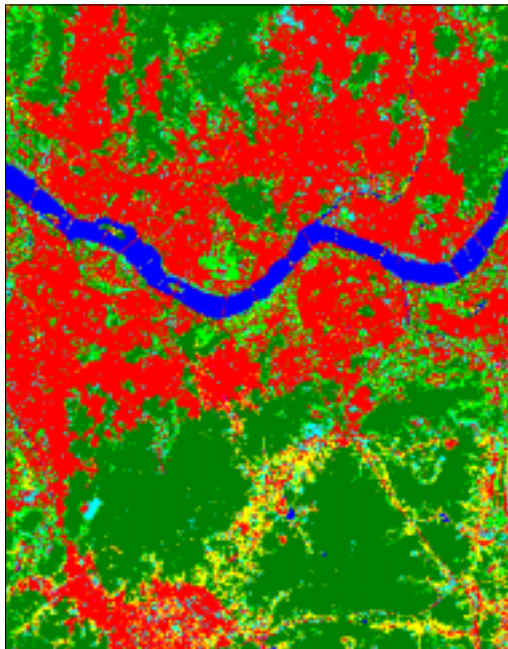
< 부록표 Ⅱ-3 > 각 지역별 reference 개수

| | Reference 개수 | 총 합 |
|-----------------|--------------|------|
| 서울, 안양, 성동, 둔전 | 2033 | 8551 |
| 임당, 서화, 용하, 인제 | 2310 | |
| 대야, 보령, 원산도, 대천 | 2323 | |
| 대합, 창녕, 남지, 영산 | 1885 | |

8551개의 reference data를 통하여 정확도를 평가한 결과 네 개의 각 지역에 대하여 다음의 < 부록표 Ⅱ-4~7 >에 보인 바와 같은 정확도결과를 산출하였다.

2.1.3.1. 시가화 건조지역이 우세한 지역

서울, 안양, 성동, 둔전 지역은 시가화가 많이 진전된 곳으로 분류항목들 중 주로 시가화 지역이 산재해 있다. < 부록표 Ⅱ-4 >를 보면 지형도상에서 시가화지역인 지역 중 몇몇이 초지와 산림 또는 경작지로 분류되는 결과를 보였는데, 이는 도심 내부의 저밀도 지역이나 아파트 단지내에 산재한 식생들에 의한 결과로 분석된다. 또한 산림 중 몇몇은 시가화지역으로 분류된 결과를 보였는데, 이는 reference 자료와 위성영상 자료 사이의 시간 간격 사이에 도시화가 진전된 것으로 보인다. 이 지역의 전체정확도는 76.6%에 달한다.



| | | | |
|-------|---|-------|---|
| 1 수 계 |  | 5 초 지 |  |
| 2 시 가 |  | 6 산 림 |  |
| 3 나 지 |  | 7 경작지 |  |
| 4 습 지 |  | | |

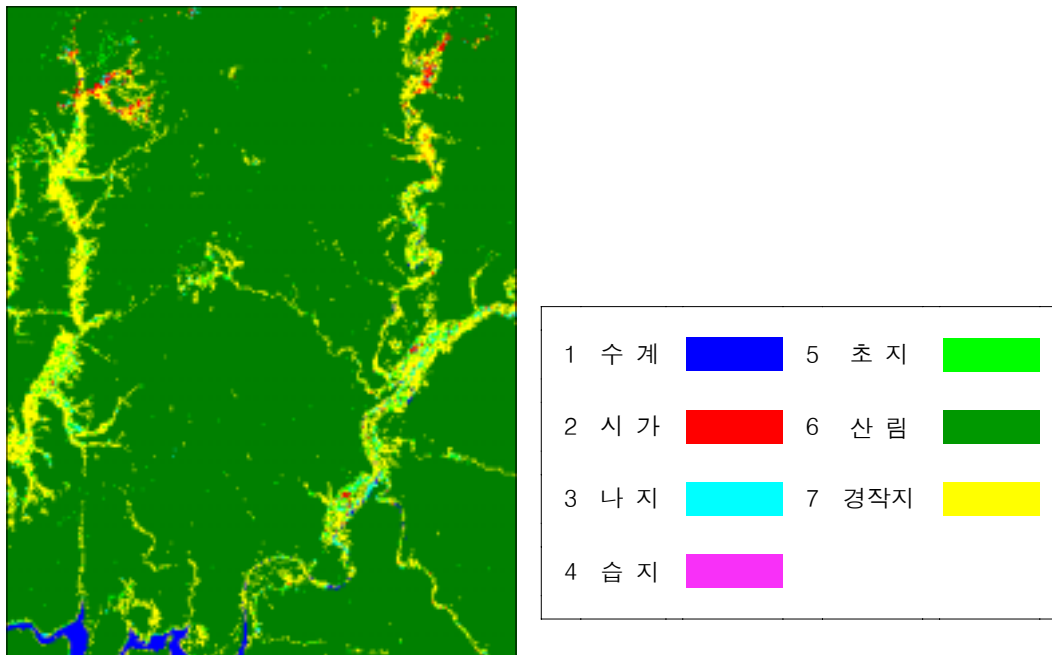
< 부록그림 Ⅱ-9 > 시가화 건조지가 많은 지역의 분류영상(서울, 안양, 성동, 둔전)

< 부록표 Ⅱ-4 > 서울, 안양, 성동, 둔전 지역의 정확도 평가 결과

| 항 목 | Reference Data | | | | | | | Totals |
|---------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| | 수 계 | 시 가 | 나 지 | 습 지 | 초 지 | 산 립 | 경작지 | |
| 수 계 | 77 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 78 |
| 시 가 | 4 | 774 | 13 | 0 | 16 | 17 | 32 | 856 |
| 나 지 | 0 | 41 | 3 | 0 | 8 | 7 | 16 | 75 |
| 습 지 | 0 | 4 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 6 |
| 초 지 | 1 | 92 | 2 | 0 | 25 | 33 | 24 | 177 |
| 산 립 | 2 | 40 | 1 | 0 | 25 | 645 | 36 | 749 |
| 경작지 | 6 | 41 | 0 | 0 | 2 | 10 | 33 | 92 |
| Totals | 90 | 993 | 19 | 0 | 77 | 713 | 141 | 2,033 |
| KHAT(%) | 64.3 | | | | | | | |
| Overall accuracy(%) | 76.6 | | | | | | | |

2.1.3.2. 산림지역이 우세한 지역

임당, 서화, 용하, 인제 지역은 강원도 지역에 해당하여 산림이 많은 지역이다. 따라서 산림이 전체정확도에 많은 영향을 미치게 된다. < 부록표 II-5 >에서 보는



< 부록그림 II-10 > 산림이 많은 지역의 분류영상(임당, 서화, 용하, 인제)

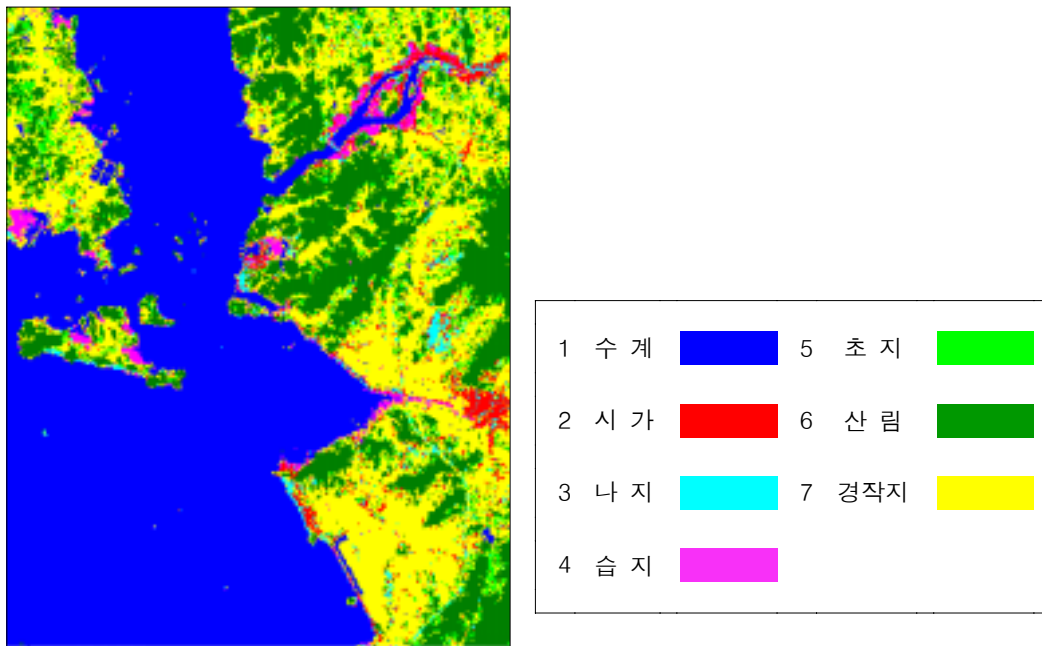
< 부록표 Ⅱ-5 > 임당, 서화, 용하, 인제 지역의 정확도 평가 결과

| 항 목 | Reference Data | | | | | | | Totals |
|---------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|--------|
| | 수 계 | 시 가 | 나 지 | 습 지 | 초 지 | 산 립 | 경작지 | |
| 수 계 | 22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 22 |
| 시 가 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 12 | 16 |
| 나 지 | 2 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 3 | 8 |
| 습 지 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 초 지 | 1 | 0 | 1 | 0 | 2 | 8 | 19 | 31 |
| 산 립 | 15 | 0 | 11 | 0 | 49 | 1869 | 110 | 2,054 |
| 경작지 | 13 | 2 | 11 | 0 | 11 | 26 | 116 | 179 |
| Totals | 54 | 4 | 24 | 0 | 63 | 1,905 | 260 | 2,310 |
| KHAT(%) | 49.7 | | | | | | | |
| Overall accuracy(%) | 87.1 | | | | | | | |

바와 같이 이 지역은 87.1%로 높은 정확도를 유지하고 있다. 그러나, 몇몇 산림지역이 경작으로 또는 몇몇 경작지역이 산림으로 오분류되는 결과를 보이고 있다. 이들은 주로 경작지 중 발작물의 영향에 의한 것으로 그 피복의 특성이 산자락의 끝, 즉 나무가 성긴 지역과 유사하기 때문이다.

2.1.3.3. 수역이 우세한 지역

대야, 보령, 원산도, 대천 지역은 수계가 많은 지역으로 < 부록표 Ⅱ-6 >에서 보는 바와 같이 수계의 수가 많을 뿐더러 그 항목의 정확도 또한 높다. 이 지역에서도 역시 산림과 경작, 그리고 초지간에 오분류가 발생하고 있음을 확인할 수 있다. 수계는 그 피복의 반사특성 상 다른 항목과는 달리 오분류가 적게 발생한다. 따라서 이 지역에서의 정확도는 85%로 매우 높다.



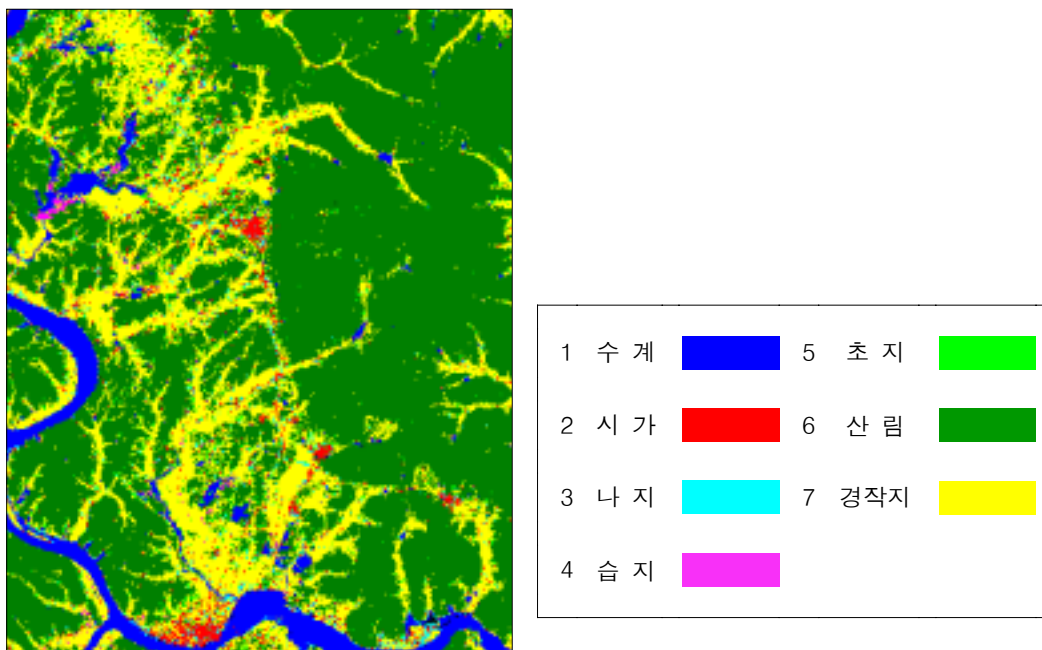
< 부록그림 Ⅱ-11 > 수계가 많은 지역의 분류영상(대야, 보령, 원산도, 대천)

< 부록표 Ⅱ-6 > 대야, 보령, 원산도, 대천 지역의 정확도 평가 결과

| 항 목 | Reference Data | | | | | | | |
|---------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------|
| | 수 계 | 시 가 | 나 지 | 습 지 | 초 지 | 산 립 | 경작지 | Totals |
| 수 계 | 1116 | 0 | 1 | 37 | 0 | 0 | 0 | 1,154 |
| 시 가 | 4 | 8 | 0 | 10 | 0 | 2 | 27 | 51 |
| 나 지 | 4 | 2 | 1 | 7 | 0 | 6 | 14 | 34 |
| 습 지 | 2 | 1 | 2 | 18 | 1 | 0 | 1 | 25 |
| 초 지 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 22 | 58 | 82 |
| 산 립 | 0 | 2 | 2 | 3 | 7 | 388 | 58 | 460 |
| 경작지 | 12 | 5 | 3 | 7 | 5 | 42 | 443 | 517 |
| Totals | 1,138 | 18 | 9 | 83 | 14 | 460 | 601 | 2,323 |
| KHAT(%) | 77.3 | | | | | | | |
| Overall accuracy(%) | 85.0 | | | | | | | |

2.1.3.4. 경작지역이 많은 지역

대합, 창녕, 남지, 영산 지역은 경작지가 많은 곳으로 산림에 이어 경작지가 두 번째로 많이 산재한다. 이 지역 역시 산림과 경작지간의 오분류가 발생하기는 하였으나 전체적인 정확도는 78.8%로 높은 수치를 유지하고 있다.



< 부록그림 Ⅱ-12 > 경작지가 많은 지역의 분류영상(대합, 창녕, 남지, 영산)

< 부록표 Ⅱ-7 > 대합, 창녕, 남지, 영산 지역의 정확도 평가 결과

| 항 목 | Reference Data | | | | | | | |
|---------------------|----------------|-----|-----|-----|-----|-------|-----|--------|
| | 수 계 | 시 가 | 나 지 | 습 지 | 초 지 | 산 립 | 경작지 | Totals |
| 수 계 | 42 | 0 | 18 | 1 | 7 | 1 | 49 | 118 |
| 시 가 | 2 | 6 | 0 | 1 | 0 | 0 | 27 | 36 |
| 나 지 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 23 | 26 |
| 습 지 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 5 |
| 초 지 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 9 | 32 | 44 |
| 산 립 | 3 | 0 | 0 | 1 | 2 | 1085 | 183 | 1,274 |
| 경작지 | 2 | 0 | 1 | 0 | 2 | 24 | 353 | 382 |
| Totals | 53 | 6 | 19 | 3 | 11 | 1,122 | 671 | 1,885 |
| KHAT(%) | 59.6 | | | | | | | |
| Overall accuracy(%) | 78.8 | | | | | | | |

앞의 네 지역에 대한 전체정확도를 표로 만들어 보면 < 부록표 Ⅱ-8 >과 같다.

< 부록표 Ⅱ-8 > 네 지역의 전체 정확도

| 지 역 | Overall Accuracy(%) |
|------------------------|---------------------|
| 도심지역(서울, 안양, 성동, 둔전) | 76.6 |
| 산림지역(임당, 서화, 용하, 인제) | 87.1 |
| 수역·습지(대야, 보령, 원산도, 대천) | 85.0 |
| 경작지역(대합, 창영, 남지, 영산) | 78.8 |
| 전체평균 | 81.9 |