

지리산국립공원 인접지역의 토지이용변화 및 산림파편화 분석[†]

임성현* · 박종화**

*서울대학교 환경계획연구소 · **서울대학교 환경대학원 환경조경학과

I. 서론

1967년 지리산국립공원 지정은 시작으로 현재 총 20개의 국립공원이 지정되어 국립공원관리공단에 의해 관리되고 있지만 국립공원 내부에만 제한된 권한으로 인해 국립공원 인접지역은 제대로 관리되지 못하고 있다. 1990년대부터 시작된 토지이용규제완화정책과 1995년에 지방자치제도가 본격적으로 실행되면서 국립공원 인접지역은 각 지자체가 경쟁적으로 벌이는 수익사업으로 인해 파편화되어 국립공원을 점점 고립시키고 있다. 특히, 5개 지자체(구례·남원·산청·하동·함양)를 끼고 있는 지리산국립공원은 이런 문제가 더욱 심각하다. 또한, 국립공원 경계와 인접한 지역은 임야나 전답이라 해도 전용허가를 받으면 개인주택뿐 아니라 모텔 등 숙박시설도 건축할 수 있어 자연생태계의 파괴요인이 되고 있다. 지리산국립공원 인접지역에서 발생하는 개발행위로 인해 지리산은 더욱 파편화되어 야생동·식물서식지를 감소시키고 있으며, 이런 경향은 주5일 근무, 웰빙 바람을 타고 더욱 가속화될 전망이다.

또한, 2005년 9월 백두대간보호지역이 지정되면서 지리산국립공원과 같은 대부분의 산악형 국립공원 인접지역의 일정 부분은 백두대간보호지역에 포함되어 향후 백두대간 복원사업이 원활히 진행되기 위해서는 백두대간보호지역에 포함된 국립공원 인접지역의 관리는 시급한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 지리산국립공원 인접지역을 대상으로 인공위성 영상을 이용하여 토지피복 분류 및 토지피복 변화를 분석하고, 이를 바탕으로 FRAGSTATS 모델을 이용하여 산림 파편화를 정량적으로 분석하여 지리산국립공원 인접지역의 지속가능한 관리방안을 도출하기 위한 기초연구를 수행하는 것이다.

II. 연구범위 및 방법

1. 연구범위

국립공원의 인접지역은 뚜렷한 경계를 가지는 것이 아니기 때문에, 본 연구에서는 현재 법적인 제한이 가해지는 지리산국립공원 경계로부터 2km¹⁾까지를 공간적 범위로 설정하였다. 연구 대상지역은 지리산국립공원 경계를 2km로 버퍼를 둔 지역으로서 전체 면적 346.20km²에 달하며, 백두대간 보호지역의 전체 면적 2,634.27km²에서 112.49km²(4.27%)를 포함하는 지역이다.

시간적으로는 1991년 10월 15일과 2001년 10월 2일의 토지피복 분류를 통해 토지이용변화 및 산림파편화를 분석하였다.

2. 연구방법

본 연구에서 사용한 인공위성 영상은 1991년대에 촬영된 Landsat TM과 2001년대에 촬영된 ASTER 영상을 통해 토지피복 분류를 실시하여 산림 파편화 분석의 자료로 사용하였다.

인공위성 영상은 계절적으로 가을이 관측하기에 가장 용이하고 토지피복변화 분석 시에 시계열적으로 차이가 나는 영상을 사용하면 생물계절학적 영향으로 분류오차가 발생하기 때문에 비슷한 시기의 10월 영상을 활용하였다(Jensen, 2004).

먼저 1:25,000 수치지형도를 이용하여 2001년 영상을 image to map으로 좌표를 변환하고 1991년 영상은 보정된 2001년 영상으로 image to image로 기하보정을 수행하였다. 좌표변환은 1차 다항식, 재배열(resampling)은 최근린 내삽법을 사용하였고, 평균제곱근 오차가 0.5 화소 이내가 되도록 하였다.

토지피복분류는 ENVI 4.3 프로그램의 ISOdata 모듈을 이용하여 무감독분류를 시행하였다. 무감독분류는 OIF(Optimum Index Factor)로 3개의 최적 밴드 조합을 구하여(Aosier *et al.*, 2007), Landsat TM은 1, 4, 5 밴드를 ASTER는 2, 3, 4 밴드를 사용하였고, 분광특성이 다른 80가지 항목으로 분류하고 이들 영상은 1:25,000 수치지형도, 영상의 True color image를 참조하여 총 5개의 피복군으로 분류하였다.

토지피복변화 탐지는 두 영상의 공간해상도가 다르기 때문에 30m의 1991년 Landsat TM 영상을 15m의 2001년 ASTER

†: 본 연구는 한국환경기술진흥원의 차세대 핵심환경기술개발사업(과제번호: 052-081-055) 연구비에 의해 수행되었음.

영상에 맞추기 위해 기하보정 시 15m로 재배열하였으며, 분류된 두 시기 영상은 토지피복변화의 방향성을 알 수 있는 분류 후 비교변화탐지법을 사용하였다.

산림파편화 분석은 경관분석 프로그램인 FRAG-STATS Ver. 3.3을 사용하였다. 토지피복 분류 결과에서 추출된 산림지역을 '1'의 값, 나머지는 '0'의 값을 가지게 Arc grid format으로 전환하여 FRAGSTATS Ver. 3.3에 입력하였다. cell size는 15m, background는 '0'값, 가장자리 거리(edge distance)는 100 m로 간주하였으며(장갑수와 박인환, 1999), 분석은 경관(landscape) 수준에서 이루어졌다. 경관지수는 국내의 문헌조사를 통해 파편화(fragmentation) 정도를 잘 나타낼 수 있는 NP, LPI, ED, AWMPPFD, TCA, AWMCAI 총 6가지 지수를 선정하여 분석하였다(McGarigal and Marks, 1995). 산림파편화 분석결과는 남원시, 구례군, 하동군, 산청군, 함양군의 행정구역을 경계로 비교·분석하였다. 기타 수반되는 공간자료 분석은 Arc-GIS 9.3을 사용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 토지피복변화 양상 분석

1) 토지피복분류

분류 결과, 연구 대상지역의 80% 이상을 차지하고 있던 산림이 1991년 285,27km²에서 2001년 266,05km²로 6.74% 감소하고 있다. 6.74%의 산림감소율은 이동근 등(2007)의 연구에서 도출된 2.27% 산림감소율의 약 3배로 지리산국립공원 인접지역이 백두대간보호지역 중 산림훼손이 심한 지역임을 반증하고 있다.

산림을 제외하고는 농업지역, 시가화·건조지역과 수계, 나지의 순서로 넓은 토지피복 상태를 확인할 수 있었다. 표 1에서 알 수 있듯이 산림을 제외한 다른 토지피복은 증가하였다. 시가화·건조지는 380.13%, 수계는 292.98% 그리고 농경지와 나지는 11.02%로 증가하였다.

2) 토지피복분류정확도

표 1. 토지피복분류 결과

분류항목	1991년		2001년	
	면적(km ²)	비율(%)	면적(km ²)	비율(%)
1 시·건	2.97	0.82	14.26	4.13
2 농업	56.50	16.35	62.73	18.15
3 산림	285.27	82.55	266.05	76.96
4 나지	0.38	0.11	0.42	0.12
5 수역	0.57	0.16	2.24	0.65
계	345.69	100.00	345.69	100.00

토지피복분류 결과를 평가하기 위한 참조자료는 1:25,000의 수치지형도와 2007년 9, 10월의 현장조사 자료 및 백두대간 훼손실태 조사 연구 I(환경부, 2003)의 현장조사 자료를 사용하였다. 수집된 총 3,476개의 참조점은 각 5개의 토지피복항목별로 25%를 임의추출하여 총 869개의 참조점으로 정확도 검증을 수행하였다.

그 결과, 1991년 영상의 분류정확도는 81.27%이었으며, 2001년은 84.81%였다. 평균적인 Kappa 통계치가 0.7 이상으로 비교적 정확히 분류되었다고 할 수 있지만, 시가화·건조지역과 나지의 분류정확도는 1991년 영상에서 각각 21.05%(시·건), 0.00%(나지), 2001년 영상에서 각각 50.00%(시·건), 0.00%(나지)로 낮게 나타났다. 나지의 분류정확도가 현저하게 낮은 것은 초기 천이단계를 보이는 나지의 특성상 주변의 우세한 토지피복과 함께 분류되는 경향 때문인 것으로 사료된다.

3) 토지피복변화

1991년과 2001년 사이의 토지피복 면적변화를 살펴보면, 도시화가 진행된 지역은 13.55km²로 농경지(10.54km²)와 산림(2.96km²)에서 많은 개발행위가 이루어진 것으로 나타났다(표 2 참조). 이들 지역에 대해 지형도와 비교 분석한 결과, 상대적으로 계곡부 지역과 도로 인접지역에서 도시화가 진행된 것을 알 수 있었다.

산림지역이 다른 용도로 변환된 지역은 20.95km²로 농경지(16.69km²)와 시가화·건조지(2.96km²) 그리고 수계(1.15km²)로 전용된 것으로 분석되었다. 농경지의 증가는 산림에서 밭으로의 개간으로 인한 것이며, 시가화·건조지의 증가는 계곡부를 중심으로 일어나고 있는 전원주택, 펜션 등의 주택건설과 휴양림, 온천 등과 같은 지자체에서 벌이는 수익사업이 주된 원인이다. 그리고 수계의 증가는 농업기반공사로 조성된 저수지로 인한 것이다.

산림지역으로 변화되어 자연성을 회복한 지역은 11.17km²로 농경지에서 변화한 면적이 10.67km²로 상대적으로 높게 나타났다. 이들 지역은 산림지역에 인접한 농경지가 접근성의 약화 및 지력 쇠퇴 등의 이유로 인한 소득 감소의 영향으로 휴경농

표 2. 토지피복 변화탐지매트릭스(1991~2001) (단위: km²)

		1991				
		수계	나지	농업	시·건	산림
2001	수계	0.43	0.12	0.46	0.04	1.15
	나지	0.03	0.03	0.19	0.02	0.15
	농업	0.06	0.14	34.10	1.58	16.69
	시·건	0.01	0.04	10.54	0.74	2.96
	산림	0.03	0.04	10.67	0.43	251.90

표 3. 지자체별 경관지수 분석 결과

	NP		LPI(%)		ED(m/ha)		AWMPFD		TCA(km ²)		AWMCAI(%)	
	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001	1991	2001
구례	500	985	41.22	33.27	72.17	131.01	1.26	1.33	40.82	25.67	58.10	37.89
하동	55	230	64.49	48.38	51.09	92.43	1.21	1.25	33.79	24.02	68.38	50.92
산청	201	786	57.84	30.86	59.67	115.29	1.25	1.29	50.92	33.78	64.68	46.72
함양	98	491	44.08	41.25	88.50	151.66	1.26	1.29	18.44	11.99	52.30	36.87
남원	606	1,464	50.32	24.72	93.42	155.80	1.29	1.31	24.99	11.32	48.38	24.44

지화 되어 자연식생이 도입되면서 나타난 결과라 판단되며, 향후 지속적인 분석과 모니터링을 통해 그 변화과정에 대한 고찰이 필요하다고 사료된다(오정학 등, 2007).

2. 산림파편화 양상 분석

분석된 경관지수는 지리산국립공원 인접지역을 포함하는 5개 지자체(남원시, 구례군, 하동군, 산청군, 함양군)를 대상으로 1991년에서 2001년 사이의 산림경관의 구조와 변화를 비교·분석하였다(표 3 참조).

NP는 경관에서 조각의 총 개수를 나타내는 지수로, 파편화 정도를 알 수 있는데, 같은 면적일 때 조각 수가 많을수록 파편화 정도가 높다는 것을 나타내며 생태계가 인간간섭을 받는 정도가 높다는 것을 의미한다. 5개 지자체 중 남원시의 NP 지수가 10년 사이에 858개 증가하여 가장 많은 파편화가 진행되었고, 함양군의 경우 1991년 98개이던 NP 지수가 2001년도에 491개로 약 4배 증가하여 가장 높은 산림조각 증가율을 보였다.

LPI는 가장 큰 산림조각이 경관에서 차지하는 비율을 의미한다. 산림조각의 크기가 작아지며 외부 영향에 약한 임내종의 수는 줄어들고 외부 영향에 강한 임연종의 수는 증가한다(이도원, 2001). 종의 귀중성을 고려한다면 산림조각의 크기가 작아져 임내종 수가 감소한다는 것은 생태계의 손실이다. 가장 큰 LPI 지수의 감소를 보인 곳은 산청군과 남원군이며, 가장 낮은 감소를 보인 곳은 함양군이다. LPI 지수와 NP 지수를 관련시켜 해석해 보면 산청군과 구례군은 10년 사이 각각 585개, 485개로 비슷하게 NP 지수가 증가하지만 산청군의 LPI 지수 감소가 구례군에 비해 큰 것은 산청군이 더 큰 산림조각에서 파편화가 일어났기 때문이다. 산청군의 가장 큰 LPI 지수 감소의 주된 원인은 20번 국도의 연장 증가로 사료된다(건설교통부, 1996).

ED는 가장자리의 밀도를 나타내는 지수로 값이 클수록 파편화 정도가 심하다는 것을 말해 준다. 가장 큰 ED 지수의 증가율을 보인 곳은 93.20%의 산청군이며, 가장 낮은 증가율을 보인 곳은 66.78%의 남원시이다. 산청군은 가장 높은 LPI 지수의 감소율을 높인 곳으로 다른 지역에 비해 큰 산림조각에서 파편

화가 이루어져 높은 ED 지수 증가율을 높인 것으로 사료된다.

AWMPFD는 경관 형태지수로 조각 모양의 복잡성을 기준으로 경관의 형태를 정량화한 것이다. 분석 결과, 5개 지자체는 비슷한 증가율을 보였으며, 2001년도 산림조각의 형태는 구례군, 남원시, 함양군, 산청군, 하동군의 순으로 AWMPFD 지수가 큰 것으로 나타났지만 수치적으로 큰 차이가 없기 때문에 본 연구에서 AWMPFD 지수로 산림파편화를 설명하기에는 부족함 것으로 판단된다.

TCA는 경관 내에서의 핵심지역의 면적을 나타내는 지수이며, AWMCAI는 경관 내에서 핵심지역이 차지하는 비율을 나타내는 지수이다. 핵심지역이란 생태학적으로 유용한 개념으로 생물종이 외부로부터 격리를 필요로 하는 임계면적을 의미한다. TCA 및 AWMCAI 지수의 감소는 산림파편화로 인하여 산림 내부의 종다양성과 건전성이 악화된 것을 의미한다. 분석 결과, 핵심지역의 면적은 산청군이 가장 넓었으며, 비율로는 하동군이 경관에서 가장 넓은 핵심지역을 가지고 있었다. 면적과 비율을 모두 고려하였을 때 남원시의 핵심지역이 가장 작게 나타났다.

총 6가지 경관지수의 결과를 종합해 보면 1991년과 2001년 사이에 산청군에서 가장 활발한 산림파편화가 일어났다는 것

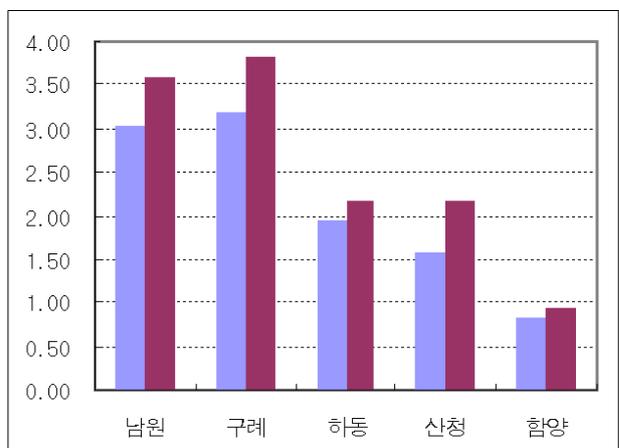


그림 1. 지자체별 대지면적(단위: km²)²⁾

을 알 수 있다. 시가화·건조지역의 낮은 분류정확도를 보완하기 위해 통계연보를 참조하여 지자체별 지리산국립공원 인접지역의 대지면적을 보았을 때 산청군이 가장 높은 대지면적 증가율을 보였다(그림 1 참조). 이 결과는 도시화의 진행속도가 빠를수록 산림파편화도 가속화된다는 것을 반증하고 있다.

또한, 지리산국립공원 인접지역의 파편화로 인한 핵심지역의 감소는 반달가슴곰과 같은 깃대종의 서식을 위협하고 있으며, 인간과의 충돌을 조장하고 있다. 국립공원관리공단(2007)에 따르면 방사한 반달가슴곰이 피해를 입힌 지역의 약 60%가 지리산국립공원 인접지역에 위치하기 때문에 반달가슴곰의 행동권을 고려하여 인간과의 충돌을 예방하기 위해서는 이 지역의 효율적인 관리방안이 필요한 실정이다.

IV. 결론

본 연구는 지리산국립공원 인접지역을 대상으로 인공위성영상을 이용하여 토지피복분류 및 토지피복변화를 분석하고, 이를 바탕으로 FRAGSTATS 모델을 이용하여 산림파편화를 정량적으로 분석하여 지리산국립공원 인접지역의 지속가능한 관리방안을 위한 기초조사를 위해 수행되었다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

첫째, 토지피복분류를 실행한 결과, 1991년에서 2001년 사이에 산림의 면적이 6.74%(19.22km²) 감소하였으며, 다른 토지피복항목은 증가하였다.

둘째, 토지피복변화를 분석한 결과, 도시화가 진행된 지역은 13.55km²로 농경지(10.54km²)와 산림지역(2.96km²)에서 많은 개발행위가 이루어졌고, 산림지역의 16.69km²가 다른 용도로 전환되었다.

셋째, FRAGSTATS 모델의 6개 경관지수를 이용하여 1991년과 2001년 사이의 산림경관을 분석한 결과, 남원시의 산림파편화가 가장 크게 나타났으며, 산림파편화의 증가율은 산청군이 가장 컸다. 이는 남원군이 1995년 남원시에 통합되면서 남원군 지역의 도시화 진행이 촉진된 결과이며, 산청군은 20번 국도의 확장으로 인해 핵심지역이 줄어들면서 산림조각의 수가 늘어났기 때문이다.

본 연구의 한계로는 참조자료 및 분광해상도의 한계로 나지와 시가화·건조지의 분류정확도가 낮았다는 점, 그리고 FRAG-

STATS 모델의 수많은 경관지수 중에 산림파편화를 나타내는 지수를 문헌조사에만 의존하여 경관지수를 선정하고 활용했다는 점을 들 수 있다.

자연환경보전가치가 아닌 등고선을 기준으로 그려진 지리산국립공원 경계로 인해 현재 지리산국립공원 인접지역은 높은 개발압력으로 인해 야생동·식물서식지의 기능을 잃어가고 있으며, 이런 추세는 토지구제완화정책의 일환으로 토지이용 관리권한을 지방정부에 이양·위임하는 정책에 의해 심화될 전망이다. 이러한 맥락에서 지리산국립공원과 같은 보호지역의 인접지역은 완충지대의 개념을 고려하여 산림파편화를 완화할 수 있는 안전장치나 관리방안이 필요한 실정이다. 따라서 본 연구는 지리산국립공원 인접지역의 지속가능한 관리방안을 위한 기초 자료를 제공할 수 있다는 점에서 의미가 있다.

향후 참조자료를 보완하거나 분광특성 한계를 극복할 수 있는 분류 알고리즘을 적용하여 분류정확도를 향상시키고 보다 구체적인 지리산국립공원 인접지역의 산림파편화 연구를 진행한다면 이 지역의 산림훼손을 최소화하면서 지속가능한 이용을 수용할 수 있는 방안을 도출해낼 수 있으리라 판단된다.

주 1. 자연환경보전법 제28조에 따라 최고봉이 1,200m 이상인 자연공원은 경계로부터 2km까지를 자연경관영향 심의대상으로 한다.

주 2. 통계연보자료 취합: 하동군(1992, 2003), 산청군(1992, 2002), 구례군(1992, 2002), 남원시(2002), 남원군(1993), 함양군(1992, 2000).

인용문헌

1. 건설교통부(1996) 도로현황조사.
2. 국립공원관리공단(2007) 지리산방사곰피해지 일제조사. 내부자료.
3. 오정학, 김영걸, 권진오(2007) 백두대간 마루금 지역의 시계열적 토지피복 변화 및 경관구조 분석. 한국지리정보학회지 10(3): 49-57.
4. 이도원(2001) 경관생태학: 환경계획과 설계, 관리를 위한 공간생리. 서울대학교 출판부.
5. 장갑수, 박인환(1999) 경상북도 4개 도시의 녹지파편화 현상 비교. 환경영향평가학회지 8(4): 13-23.
6. 환경부(2003) 백두대간 훼손실태조사 연구 I.
7. Acsier Buhe, K. Tsuchiya, M. Kaneko, N. Ohtaishi and Mahmut Halik (2007) Land cover of oases and forest in XinJiang, China retrieved from ASTER data. Advances in Space Research 39: 39-45.
8. Jensen, J. R.(2004) Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd ed.). New Jersey: Prentice-Hall.
9. McGarigal, K. and B. J. Marks(1995) FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. USDA.