

FRAGSTATS 모형을 이용한 도암댐 유역의 산림 파편화 분석

허성구^{1*} · 김기성¹ · 안재훈² · 윤정숙³ · 임경재¹ · 최중대¹ · 신용철¹ · 유창원¹

Landscape Analysis of the Forest Fragmentations at Doam-Dam Watershed using the FRAGSTATS Model

Sung-Gu HEO^{1*} · Ki-Sung KIM¹ · Jae-Hun AHN² · Jong-Suk YOON³
Kyoung-Jae LIM¹ · Joong-Dae Choi¹ · Yong-Chul Shin¹ · Chang-Won Lyou¹

요 약

강원도 평창군에 위치한 도암댐 유역은 인간의 개발행위에 따른 산림지역 파편화로 인해 산림지역의 상당부분이 농업/도시 지역으로 변화되어 왔다. 이러한 토지이용변화로 인해 하류 수역에서는 많은 부정적인 영향이 발생하고 있다. 그러나 토지이용변화가 도암댐 유역내 경관에 미치는 영향을 과학적인 분석 틀을 이용하여 수계단위로 분석한 예는 그리 많지 않다. 따라서 본 연구에서는 산림의 파편화가 경관에 미치는 영향을 정량적으로 분석하기 위하여 경관분석 프로그램인 FRAGSTATS를 이용하였다. 복잡한 계산식으로 구성된 경관지수를 자동으로 산출해주는 FRAGSTATS 프로그램은 경관분석에 많이 이용해 왔으나, 각 경관지수별 설명이 충분하지 않아 FRAGSTATS를 처음 사용하는 사용자가 이를 이용하여 정량적 경관분석을 수행하기에는 다소 어려움이 있어 왔다. 따라서 본 연구에서는 경관 파편화가 발생하기 전과 후의 가상적이면서 단순화된 경관을 구성하여 경관지수를 설명하였다. 본 연구에서 기술된 경관지수를 이용하여 도암댐 유역내에서 산림 파편화가 경관에 미치는 영향을 정량적으로 평가하였다. 총 19개 소유역중 S1 유역이 1985년부터 2000년까지 가장 많은 산림 파편화가 진행된 것으로 분석되었다. 본 연구의 결과는 산림지역의 파편화, 이에 따른 토지이용변화가 수질에 미치는 영향을 수계단위로 평가하는데 매우 유용하게 사용될 수 있으리라 판단되며, FRAGSTATS와 같은 경관분석 프로그램의 결과를 바탕으로 한 환경친화적 토지이용계획을 수립하는데 매우 유용하리라 판단된다.

주요어 : 토지이용변화, 파편화, FRAGSTATS, 경관지수, GIS, SWAT

ABSTRACT

The Doam-dam watershed, located at Kangwon Province, Korea, has been experiencing significant changes in land uses, conversion from forest to agricultural/urban areas, with human

2006년 8월 30일 접수 Received on August 30, 2006 / 2006년 11월 13일 심사완료 Accepted on November 13, 2006

1 강원대학교 농업생명과학대학 College of Agriculture, Kangwon National University

2 고령지 농업연구소 National Institute of Highland Agriculture

3 인하대학교 Inha University

* 연락처 E-mail : pure0016@nate.com

involvements. However, no thorough investigation of the landscape impacts of land use changes was performed at this watershed using the scientific analytical tool. Thus, the FRAGSTATS model was utilized to quantitatively analyze the landscape impacts of forest fragmentation in this study. To provide the detailed explanations for 11 landscape indices considered in this study, two artificial and simplified landscapes, before and after fragmentations, were constructed. Using these 11 indices, the landscape impacts of forest fragmentation in 19 subwatersheds of the Doam-dam watershed were analyzed. The S1 subwatershed, one of 19 subwatersheds of the Doam-dam watershed, was found to have experienced the significant forest fragmentation from 1985 to 2000 based on landscape analysis using the FRAGSTATS model. The results obtained in this study can be used to evaluate the water quality impacts of forest fragmentations/land use changes at watershed scale level, and establish environment-friendly land use planning based on the results obtained using landscape analytical tool, FRAGSTATS.

KEYWORDS : Land Use Change, FRAGSTATS, Fragmentation, Landscape Index, GIS, SWAT

서 론

지난 수십 년간 인간위주의 각종 개발 사업으로 인하여 주거·상업·공업지역 등과 같은 도시지역은 확산된 반면 기존에 있던 산림·경작지·습지 등의 자연경관은 상당부분 제거되어 왔다. 오랜 기간 동안 자연스럽게 배치된 경관의 공간적인 요소는 인구 증가와 이에 따른 토지이용의 변화로 인해 구조적으로 많이 변화되고 있다(김기대 등, 1998). 특히 우리나라 전 국토의 65% 정도를 차지하고 있는 산림은 수자원 함양, 대기 정화, 야생 동·식물의 서식지 제공 등의 기능을 담당하고 있음에 불구하고, 도로 및 철도 건설, 벌채 그리고 산불 발생 등으로 인하여 산림 고유의 기능이 상실되어 자연환경의 고유한 자정능력을 초과하는 환경압력으로 작용하고 있다. 이러한 산림의 파괴는 자연생태계의 물질순환과 에너지 흐름을 파괴시키고 결국에는 인간의 생명마저 위협하는 각종 환경문제의 원인이 되고 있다. 따라서 무분별한 토지이용의 변화를 막고 자연환경 훼손을 방지하여 인간과 자연이 공생하는 환경을 조성하기 위해서는 경관구조를 정확하게 평가하는 것이 필요하다(손학기 등, 2000).

경관이란 인간과 자연환경이 결합되어 시·공간적으로 나타나는 토지 모자이크(land mosaics)이며, 경관변화란 토지 모자이크에서 인간의 활동과 자연적 교란에 의하여 경관요소들의 형태와 위치가 변화하거나 다른 요소들로 대체되는 것을 의미한다. 이러한 토지 모자이크의 변화는 물리적인 환경 및 자연적인 교란, 그리고 인간 활동에 의해 토지의 파편화(fragmentation)가 진행되어 경관을 구성하는 공간요소의 배열과 그들의 생태적 성질이 변화되는 것을 말한다. 이에 경관생태학자들은 경관의 변화를 구체적으로 특성을 정량적으로 분석하기 위해서 경관지수(landscape indices)를 개발하였다(Baker and Cai, 1992 and McGarigal et al., 1995). 경관지수란 경관생태계의 구조와 기능 그리고 변화양상 등을 수치로 나타내기 위해 만든 개념으로, 절대적이 아닌 상대적 수치이다. 경관지수는 산림의 양과 같이 생태계 구성요소 혹은 순 1차 생산과정과 같은 생태계 과정의 측정치가 될 수 있고, 모형화된 교정을 통해 종합적인 생태적 상태를 이해하는 측정치로도 해석될 수 있다. 또한 경관지수를 활용하여 정성관 등(2002), Tinker et al.,(1998) and Herzog et al.,(2001)은 인간

활동에 따른 산림의 경관 생태적 변화패턴을 모니터링 하였고, 이것이 유역생태계의 지속성과 환경오염에 미치는 영향을 평가하기 위한 연구를 수행하였다(Hunsaker et al., 1992 and Jones et al., 2001). 최근에 와서는 Geographic Information System(GIS) 및 Remote Sensing (RS) 기술의 발달로 인하여 유역과 같은 광역적 공간규모의 경관요소(토지이용/토지피복)를 빠른 시간 내에 수집할 수 있게 되었을 뿐만 아니라, 경관지수를 자동적으로 계산할 수 있는 프로그램인 FRAGSTATS(McGarigal and Marks, 1995)이 개발됨에 따라 광역적 공간규모의 경관요소들에 대한 구조적 패턴 및 변화양상을 효율적으로 규명하고 있다.

강원도 평창군에 위치한 1991년에 건설된 도암댐은 유역면적 144.9km², 총 저수량 5,100만 m³인 발전전용 댐으로 도암댐 수계지역은 지난 20여 년간 산림지역 상당부분이 농경지나 초지로 용지 전환되어 왔다. 이러한 산림의 파편화는 산림 고유의 기능의 손실뿐만 아니라, 도암댐 수계내 수(水)환경에 많은 영향을 미쳐 왔다. 따라서 이러한 토지이용변화에 따른 부정적 영향을 최소화하고 친환경적 토지이용계획을 수립하여 이행하기 위해서는 먼저 토지이용변화에 따른 경관변화를 정량적으로 분석하는 것이 선행되어야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 경관구조 해석 프로그램인 FRAGSTATS을 이용하여 도암댐 유역에서 토지이용변화에 따른 경관변화를 정량적으로 분석하는데 있다. 이를 위해 각 경관지수가 어떻게 산림의 경관 생태학적 변화를 분석하는데 사용될 수 있는지 정량적 해석을 하였고, 인간의 간섭으로 인한 토지이용 경관구조의 변화에 대해 분석하였다. 본 연구의 결과는 고령지 지역에서 토지이용변화에 따른 유역단위의 수환경 영향 평가 및 친환경적 토지이용계획 수립을 위한 기초 자료로 효율적으로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

연구지역 선정 및 분석방법

1. 연구지역 선정

본 연구의 목적은 도암댐 수계내 토지이용 변화에 따른 경관변화를 정량적으로 분석하는 것이다. 연구 대상지역인 도암댐 수계는 강원도 평창군 도암면에 속해있고, 동경 128° 37' ~128° 47', 북위 38° 35' ~38° 47' 에 위치해 있다(그림 1). 도암면의 면적은 221.6km²로서 평창군 전체 면적 1463.7km²의 15.2%에 해당되며 이 중 농경지와 초지는 각각 8.1%와 4.4%를 차지한다. 반면, 산림이 82.6%를 차지하는 전형적인 산지 고원 지역이다(평창군청, <http://www.happy700.or.kr/>).

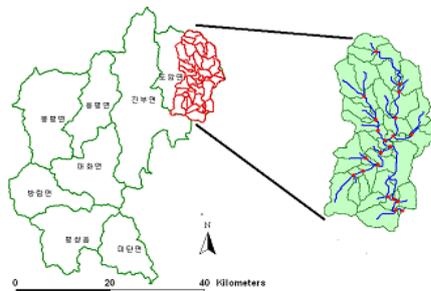


FIGURE 1. 평창군 도암댐 수계

2. 도암댐 유역 및 소유역 연도별 토지이용 변화

도암댐 유역내 토지이용현황은 환경부에서 발행한 1980년대(1980~1989년 토지이용도), 2000년 토지이용도를 사용하였으며, 가로, 세로 각각 5m×5m인 격자 형태의 셀 사이즈로 분석 하였다. 본 연구의 목적이 도암댐 수계내 토지이용변화에 따른 경관변화를 정량적으로 분석한 것으로 이 연구의 결과가 고령지 지역에서 토지이용변화가 유역단위의 수 환경에 미치는 영향 평가의 기초 자료로 이용될 수 있도록 도암댐 수계를 총 19개의 소유역으로 구분하였다(그림 2). 19개의 소유역 구분에 있어 기준은 Soil and Water Assessment Tool (SWAT) 모델에 DEM, 유역도, 하천도를 이

용하여 Watershed Delineation 작업을 실시하여 19개 소유역을 생성 하였다. 1985년도 19개 소유역별 산림 면적률은 S18유역이 97%로 가장 높고, 도시지역 면적률은 S11유역이 0.6%로 가장 높다. 농경지 면적률은 S10유역이 71%로 가장 높은 반면, S1유역의 농경지 면적률이 2.3%로 가장 낮다(그림 2 (a)). 또한 2000년 19개 소유역별 산림면적률은 S4유역이 94% 정도로 가장 높고, 도시지역 면적률은 S11유역이 5.2%로 가장 높다. 농경지 면적률은 63.6%로 가장 높은 반면, S18유역이 4%로 가장 낮다(그림 2 (b)).

3. 경관구조 해석 모형의 적용

3.1 FRAGSTATS 모형 개요

McGarigal and Marks(1995)가 개발한 경관구조 해석프로그램인 FRAGSTATS은 경관구조에 관한 많은 지표산출과 지표의 해석으로부터 경관의 정량적 평가가 가능하며, 경관조성(Landscape composition)과 경관배열(Landscape configuration)의 두 가지 상이한 접근방식이 경관에 적용되는 프로그램이다. Raster 형태의 입력 자료에 대하여 패치(Pach), 클래스(Class), 경관(Landscape) 별로 40개 이상의 경관지수

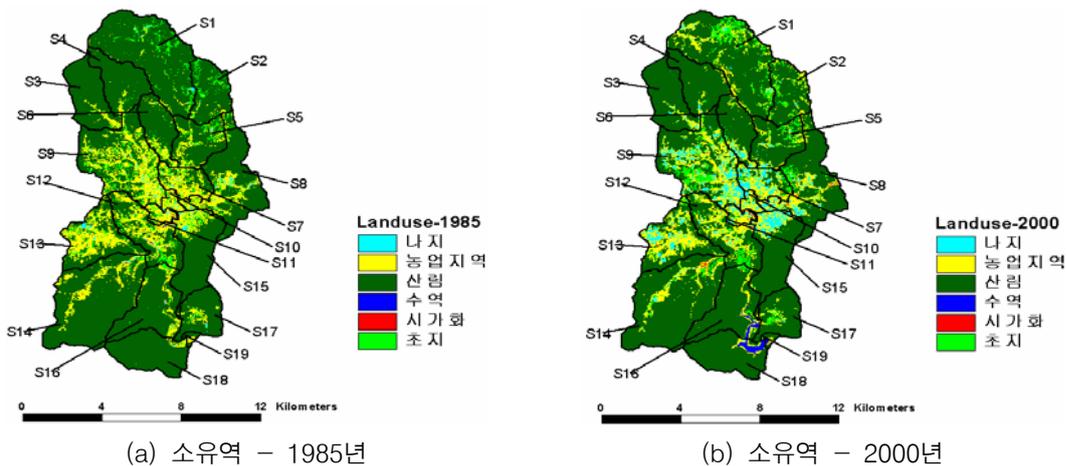
를 계산할 수 있다. 패치는 같은 셀 값을 갖는 인접한 Raster Cell의 그룹을, Class는 공동의 셀 값을 갖는 패치의 집합을 의미하고, 경관(Landscape)은 특정 환경내의 전체를 Class집합으로 나타낸다.

3.2 경관 지수

경관지수는 경관생태계의 구조와 기능 그리고 변화양상 등을 수치로 나타내기 위한 개념으로 절대적인 수치 아닌 상대적 수치를 말한다. 경관지수는 산림의 양과 같이 생태계 구성요소 혹은 1차 생산과정과 같은 생태계 과정의 측정치가 될 수 있고, 모형화된 교정을 통해 종합적인 상태를 이해하기 위한 측정치로 해석할 수 있다. 지수의 평가속성에 따라 1) 면적지수(Area metrics), 2) 패치 밀도(Patch density), 3) 크기(Size), 4) 가장자리 지수(Edge metrics), 4) 형태 지수(Shape metrics), 5) 다양성 & 산재성 지수(Diversity & Interspersion metrics), 6) 핵심 지수(Core area metrics)로 구분되어 있다(Elkie et al., 1999).

3.3 FRAGSTATS 경관 지수 선정

경관지수의 선정에 있어 구조적 패턴은 McGarigal and Markes(1995)가 제안한 크기,



(a) 소유역 - 1985년

(b) 소유역 - 2000년

FIGURE 2. 소유역의 분류(1985년과 2000년 토지이용, 환경부 제공)

밀도, 가장자리, 형태, 핵심구역 등에 관련된 경관지수 중 파편화(Fragmentation) 정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 경관지수 LPI, NUMP, LSI, PLAND, CPLAND, TCA 총 6가지 지수를 선정하여 분석 하였다(표 1).

3.4 산림 파편화 정도의 정량적 분석을 위한 경관지수

도암댐 유역에 대해 1985년부터 2000년까지 토지이용변화에 따른 산림의 파편화 정도의 정량적 분석을 위해 크기, 밀도, 가장자리, 형태, 핵심구역 등에 관련된 6가지 경관지수 - LPI, NUMP, LSI, PLAND, CPLAND, TCA - (McGarigal and Marks, 1995)를 이용하였다. 본 연구에서 이용된 6가지 경관지수에 대해 설명하기 위하여 가상적인 경관(100m * 100m w/ 5m cell size, 파편화 전과 후)을 구성하였다.

1) PLAND(Percentage of Landscape):

경관 면적 비율

PLAND(Percentage of Landscape)는 경관 내의 각 패치의 총합 비율 및 총 클래스(Class) 면적을 나타내는 지수로 식 1과 같다. 그림 3에서 보면 각각의 패치 1, 패치 2, 그리고 패치 3의 면적비율은 파편화 전과 후 모두 각각 36%, 32%, 그리고 32% 이었다. 따라서 경관 변화를 분석하는데 있어서 PLAND 지수 만으로는 경관의 파편화를 제대로 반영할 수 없는 단점이 있으나 토지이용의 변화를 개략적으로 살펴보는 데 이용할 수 있다.

2) NUMP(Number of Patches): 패치수

NUMP(Number of Patches)는 각각 1, 2, 그리고 3의 셀 값을 갖는 패치의 개수를 의미한다(식 2). 그림 4에서 보이는 바와 같이 파편화 전과 후의 경관면적 비율이 동일함에도 불구하고 패치 수는 파편화 후에 각각 1개, 6개, 그리고 9개로 파편화되었음을 알 수 있다. 그러나 파편화된 패치의 공간적 위치 및 파편화된 패치 각각의 면적을 분석하는데 이용할 수 없는 단점이 있다.

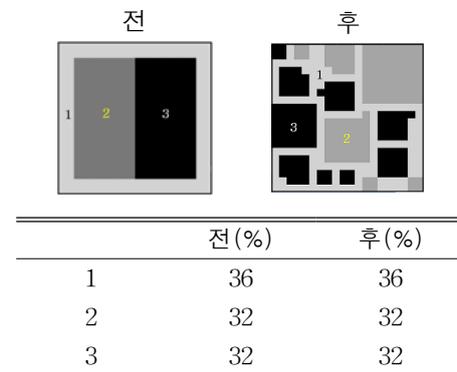


FIGURE 3. PLAND(경관 면적 비율)

$$P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100) \quad (1)$$

a_{ij} = 패치 ij의 면적(m^2)

A = 총 경관면적(m^2)

단위 : %

범위 : $0 < PLAND \leq 100$

TABLE 1. 경관분석 지수별 인자(McGarigal and Markes, 1995)

Category	Index	Description	Unit
Area Density	LPI	경관 최대패치 면적 비율	%
	Edge	NUMP	패치 수
Patch Shape	LSI	경관형태 지수	-
	PLAND	경관면적 비율	%
Core Area	CPLAND	경관에서의 핵심지역의 면적률	%
	TCA	전체 핵심지역 면적	ha

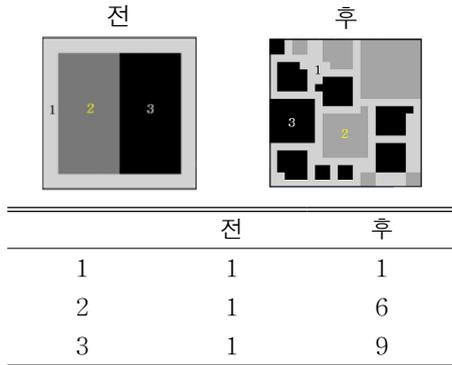


FIGURE 4. Nump(패치수)

$$Nump = n_i \quad (2)$$

N = 경관안에 있는 패치의 총 수

단위 : 없음

범위 : $NP \geq 1$

3) LPI(Largest Patch Index): 최대 패치 면적 비율

LPI(Largest Patch Index)는 경관 내에서의 가장 큰 패치로 구성된 패치의 면적 비율을 의미한다(식 3). 그림 5에서 보이는 바와 같이 파편화 전에는 셀 값이 3인 클래스중 가장 큰 패치의 면적비율이 32% 이었으나, 파편화로 인해서 셀 값이 3인 클래스중 가장 큰 패치(파편화 후 '3'이라 표기된 패치 - 그림 5의 '후')의 면적이 전체 경관 내에서 9%로 감소하였다.

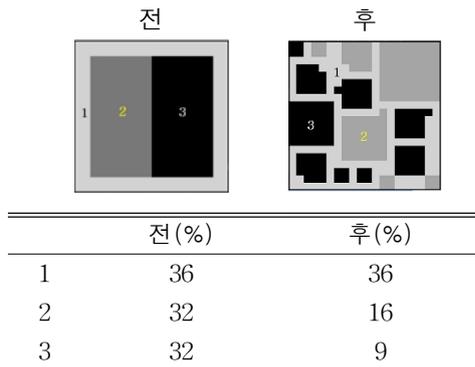


FIGURE 5. LPI(최대 패치면적 비율)

$$LPI = \frac{\max_{i=1}^n(a_{ii})}{A} (100) \quad (3)$$

a_{ij} = 패치 ij의 면적(m^2)

A = 총 경관면적(m^2)

단위 : %

범위 : $0 < LPI \leq 100$

4) LSI(Landscape Shape Index): 경관 형태지수

LSI(Landscape Shape Index)는 경관 내에 속하는 모든 가장자리길이(m)의 총합을 클래스(Class)면적의 평방근으로 나눈 값을 의미하는 지수로 식 4와 같다. 정사각형의 형태를 가진 패치의 경우 LSI 값이 1이다. 그림 6에서 보이는 바와 같이 산림 파편화에 따라 경관이 복잡해질수록 LSI 값이 커진 것을 알 수 있다. TE(총 가장자리 길이), ED(가장자리 밀도), 그리고 LSI(경관 형태지수) 모두 가장자리 길이와 관계되어 있기 때문에 클래스 1(셀 값이 1인 패치)의 TE, ED, 그리고 LSI 값이 크고 클래스 2(셀 값이 2인 패치)의 TE, ED, LSI 값이 작다.

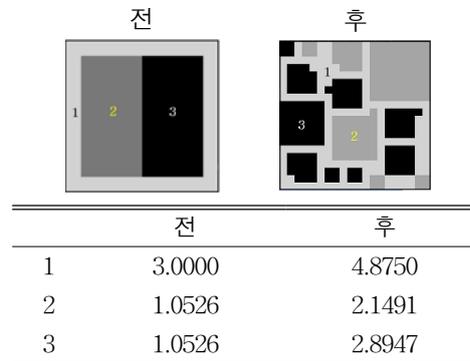


FIGURE 6. LSI(경관 형태지수)

$$LSI = \frac{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}} \quad (4)$$

e_{ik} = 경관안에서의 가장자리 총 길이(m)

A = $\sqrt{\text{총경관면적}(m^2)}$

단위 : 없음

범위 : $LSI \geq 1$

5) TCA(Total Core Area): 전체 핵심지역 면적

TCA(Total Core Area)는 경관 내에서의 핵심지역의 양을 나타내는 지수로 핵심지란 생태학적으로 유용한 개념으로 생물종이 외부로부터 격리를 필요로 하는 가장자리 폭(edge depth) 즉 임계면적을 제외한 면적을 의미하며 전체 핵심지역 면적은 식 5와 같다. 이 핵심지역 면적은 가장자리 폭을 얼마만큼 설정하는가에 따라 핵심지역 면적 차이가 있다. 그림 7에서 보이는 바와 같이 가장자리 폭에 따라 클래스 2(셀 값이 2인 패치들)와 클래스 3(셀 값이 3인 패치들)의 핵심구역 면적이 차이가 있음을 알 수 있다.

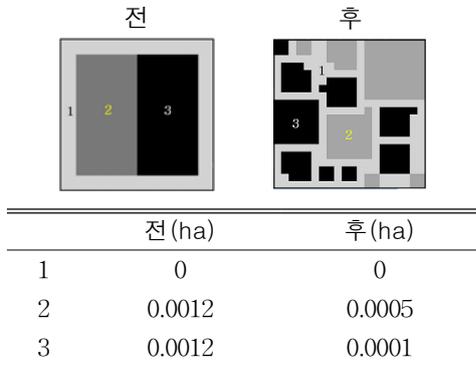


FIGURE 7. TCA(전체 핵심지역 면적)

$$TCA = \sum_{j=1}^n a_{ij}^c \left(\frac{1}{10,000} \right) \quad (5)$$

a_{ij}^c = 패치 ij의 핵심지역 면적(m^2)

단위 : ha

범위 : $TCA \geq 0$,

6) CPLAND(Core Area Percentage of Landscape): 경관에서의 핵심지역의 면적률

CPLAND(Core Area Percentage of Landscape)는 경관 내에서 가장 핵심이 되는 지역의 면적률을 나타내는 지수로 식 6과 같다. 그림 8에

서 보이는 바와 같이 가장자리 폭에 따라 클래스 2(셀 값이 2인 패치들)와 클래스 3(셀 값이 3인 패치들)의 핵심구역 면적 백분율이 차이가 있음을 알 수 있다.

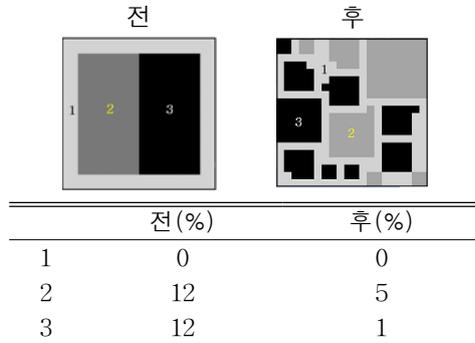


FIGURE 8. CPLAND(핵심지역의 면적률)

$$CPLAND = \frac{\sum_{i=1}^n a_{ij}^c}{A} (100) \quad (6)$$

a_{ij}^c = 패치 ij의 핵심지역 면적(m^2)

A = 총 경관면적(m^2)

단위 : %

범위 : $0 \leq CPLAND < 100$

3.5 FRAGSTATS 모델을 이용한 산림 파편화 분석

본 연구에서는 위에 설명된 6개의 경관지수를 이용하여 1985년부터 2000년 사이에 도암댐 유역에서 발생한 산림의 파편화 정도를 정량적으로 분석하였다. 이를 위해서 앞에서 기술한 바와 같이 도암댐 유역을 19개의 소유역으로 분류한 후, 각 소유역별 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력자료로 이용하였다.

결과 및 고찰

1. 도암댐 유역의 토지이용변화 양상 분석 결과

1985년도 도암댐 유역의 토지이용 현황은 산림이 약 110.16 km^2 를 차지하며, 농업지역이

24.74km², 초지 8.26km², 나지 1.19km², 시가화 0.15km², 수역이 0.10km² 각각 차지하고 있다. 또한 2000년도 도암댐 유역 토지이용 현황은 산림이 약 104.18km², 농업지역이 23.47km², 초지 8.53km², 나지 7.26km², 수역 0.80km², 시가화가 0.34km²로 각각 차지하고 있다(그림 9).

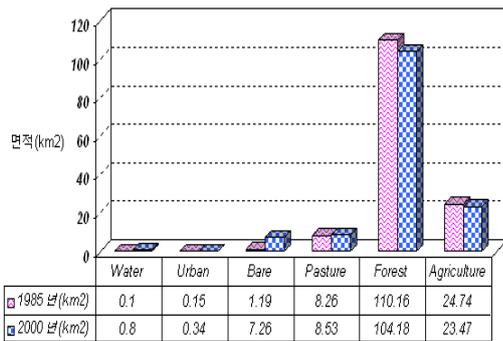


FIGURE 9. 도암댐 유역의 토지이용 면적 변화 비교

즉 1985년 토지이용의 경우 산림과 농경지가 주요 경관요소로서 93%를 차지하고 있으나, 2000년에는 산림과 농경지가 전체 경관의 88% 차지하는 경관요소로서 유역전체에 비율이 감소한 경향을 보이고 있다. 그 이유는 산업화와 인위적인 개발로 인하여 기존에 있던 산림과 농경지가 나지, 시가화로 용도가 변경되었다. 나지의 증가는 평창군 도암댐 유역 지역이 동계 올림픽 유치 기대와 펜션 최적격지로 부각됨에 따라 많은 위락단지 조성 및 도로확장 그리고 대규모 개발 현장과 타 지역 사람들이 지가 상승 기대에 따라 토지를 매입하여 나지로 분류되었다.

2. FRAGSTATS 모델을 이용한 소유역별 산림 파편화 양상 분석 결과

도암댐 유역내의 총 19개 소유역별 산림 파편화 정도를 파악하기 위해서는 전체 산림면적의 변화뿐만 아니라 산림 조각들이 얼마나 작은 조각들로 파편화되었는지를 파악하는 것

이 중요하다. 표 2는 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 하여 19개 소유역별로 산정한 PLAND, NUMP, 그리고 LPI 경관지수 값이다.

2.1 도암댐 유역 산림의 경관면적 비율(PLAND)

PLAND(Percentage of Landscape)는 경관내의 각 패치 총합 비율 및 총 클래스 면적을 나타내는 지수로, 산림의 경관지수 분석 결과 S1 유역의 1985년도 산림 PLAND 값은 89.8%, 2000년도 산림 PLAND 값은 73.5%를 나타내어 산림 클래스 면적이 1985년에 비해 16.3%로 감소하였으며, S5 유역에서는 오히려 산림지역이 1.5%로 증가되었다. 1985년도와 2000년도 토지이용의 경관분석 결과 총 19개 소유역중 S1 유역의 산림 PLAND 값이 가장 많이 변화하여 S1 유역이 파편화(Fragmentation)가 가장 심한 것으로 분석되었다. 그림 10은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 패치 총합 비율(PLAND)의 등급을 6개 단계로 분석한 결과이다.

Forest-PLAND

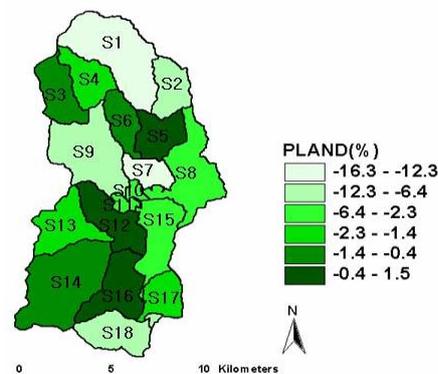


FIGURE 10. 산림지역의 PLAND 변화

2.2 도암댐 유역 산림의 패치 수(NUMP)

NUMP(Number of Patches)는 경관에서 패치의 총 개수 및 각 클래스 개개에 대한 패치

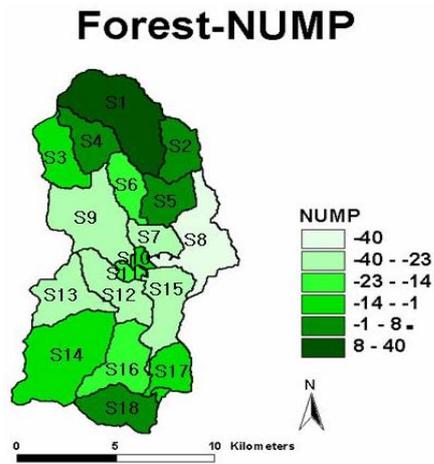


FIGURE 11. 산림지역의 NUMP 변화

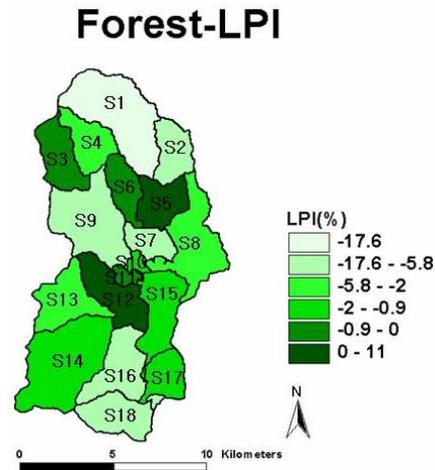


FIGURE 12. 산림지역의 LPI 변화

수를 나타내는 지수로, 토지의 파편화 정도를 알 수 있는데, 같은 면적일 때 패치수가 많을 수록 파편화 정도가 높다는 것을 나타내며, 생

태계가 인간의 관심을 많이 받은 정도가 높다는 것을 의미한다. 산림의 경관지수 분석 결과 총 19개 소유역중 S1 구역의 1985년도 산림

TABLE 2. 도암댐 소유역별(PLAND, NUMP, LPI) 분석

ID	PLAND(%)			NUMP			LPI(%)		
	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)
S1	89.8	73.5	-16.3	10	50	40	89.7	72.2	-17.5
S2	84.4	78.0	-6.4	10	16	6	83.7	77.4	-6.3
S3	92.6	92.2	-0.4	8	6	-2	92.5	92.1	-0.4
S4	95.6	93.6	-2.0	2	5	3	95.6	93.6	-2.0
S5	72.7	74.2	1.5	29	31	2	61.0	72.0	11.0
S6	81.1	80.5	-0.6	30	16	-14	76.7	76.4	-0.3
S7	40.5	28.2	-12.3	71	45	-26	27.6	18.1	-9.5
S8	73.2	70.5	-2.7	92	52	-40	39.5	36.8	-2.7
S9	52.3	45.5	-6.8	157	128	-29	29.2	22.3	-6.9
S10	8.1	5.7	-2.4	22	15	-7	2.0	1.1	-0.9
S11	13.7	10.7	-3.0	39	21	-18	4.1	4.1	0.0
S12	53.7	54.5	0.8	87	56	-31	26.2	31.2	5.0
S13	50.7	48.7	-2.0	85	60	-25	38.2	36.1	-2.1
S14	88.2	87.5	-0.7	29	23	-6	87.8	86.5	-1.3
S15	78.4	76.2	-2.2	40	17	-23	76.6	75.8	-0.8
S16	86.9	88.3	1.4	28	14	-14	84.6	74.0	-10.6
S17	88.7	87.3	-1.4	9	2	-7	88.5	87.3	-1.2
S18	96.8	89.2	-7.6	2	10	8	96.8	87.9	-8.9
S19	69.7	63.0	-6.7	3	2	-1	56.0	50.1	-5.8

NUMP는 10개 이었으며, 2000년도 산림 NUMP는 50개로 무려 40개의 증가를 보여 19개 소유역중 S1 유역에서 가장 많은 파편화가 진행되었음을 알 수 있다. 그림 11은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 패치 수(NUMP)의 등급을 6개 단계로 분석결과이다.

2.3 도암댐 유역 산림의 경관 최대 패치면적 비율(LPI)

LPI(Largest Patch Index)는 가장 큰 산림 패치가 소유역에서 차지하는 비율을 측정하는 지수로 파편화 정도를 의미한다. 산림의 경관 지수 분석 결과 S1 유역에서는 1985년 산림 LPI 지수 87.7%에서 2000년도 LPI 지수 72.2%

로 17.6% 감소하였다. 따라서 S1 유역에서 인위적인 개발 및 기존의 산림이 시가화, 나지, 초지로 많이 변화되어 파편화가 많은 발생한 유역으로 분석 되었다. 그림 12는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 경관 최대 패치 면적 비율(LPI)의 등급을 6개 단계로 분석결과이다.

표 3은 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 하여 19개 소유역별로 산정한 산림경관지수(LSI, TCA, CPLAND)값이다.

2.4 도암댐 유역 산림의 경관형태 지수(LSI)

LSI(Landscape Shape Index)는 경관 형태 지수는 패치의 모양의 복잡성을 기준으로 경

TABLE 3. 도암댐 소유역별 경관지수(LSI, TCA, CPLAND) 분석

ID	LSI			TCA(ha)			CPLAND(%)		
	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)
S1	7.239	11.102	3.864	1,512.630	1,238.670	-273.960	89.805	73.540	-16.265
S2	6.730	6.937	0.207	487.620	450.720	-36.900	84.432	78.043	-6.389
S3	3.166	2.769	-0.397	641.070	638.460	-2.610	92.579	92.202	-0.377
S4	2.865	2.803	-0.063	595.980	583.740	-12.240	95.597	93.634	-1.963
S5	9.107	7.662	-1.445	440.910	450.090	9.180	72.686	74.199	1.513
S6	5.170	3.941	-1.230	407.520	404.100	-3.420	81.147	80.466	-0.681
S7	11.659	9.549	-2.110	160.650	111.870	-48.780	40.513	28.212	-12.301
S8	8.139	7.046	-1.094	900.270	867.150	-33.120	73.196	70.503	-2.693
S9	19.454	15.228	-4.226	749.970	653.310	-96.660	52.264	45.528	-6.736
S10	5.474	4.813	-0.661	7.650	5.400	-2.250	8.095	5.714	-2.381
S11	7.407	6.292	-1.116	16.380	12.870	-3.510	13.674	10.744	-2.930
S12	12.986	11.271	-1.714	432.270	438.660	6.390	53.725	54.519	0.794
S13	12.674	9.941	-2.733	425.520	408.510	-17.010	50.681	48.655	-2.026
S14	6.000	5.274	-0.726	1,593.000	1,580.400	-12.600	88.169	87.472	-0.697
S15	4.241	3.134	-1.108	681.030	661.500	-19.530	78.447	76.197	-2.250
S16	4.645	3.866	-0.779	772.740	784.800	12.060	86.929	88.286	1.357
S17	4.113	3.664	-0.448	447.390	440.550	-6.840	88.705	87.348	-1.356
S18	2.022	2.081	0.059	716.580	660.240	-56.340	96.826	89.213	-7.613
S19	2.297	2.429	0.131	30.060	27.180	-2.880	69.729	63.048	-6.681

관의 형태를 정량화 한 것으로 경관 형태지수로, 산림의 경관지수 분석 결과 S1구역의 1985년 산림 LSI 지수가 7.2 이었으며, 2000년도 산림 LSI 지수가 11.1로 3.9 증가 하였다. 즉 S1 구역 산림의 패치 모양이 가장 불규칙하고 복잡한 것으로 추정할 수 있다. 그림 13은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 경관 형태지수(LSI)의 등급을 6개 단계로 분석한 결과이다.

Forest-LSI

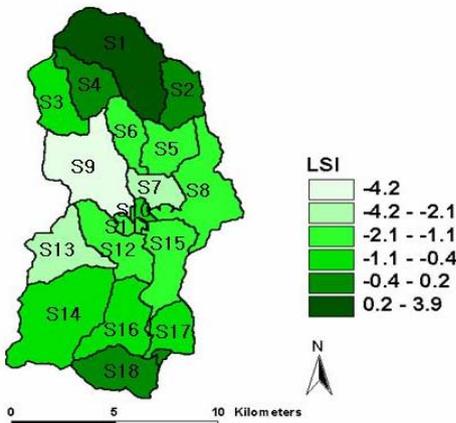


FIGURE 13. 산림지역의 LSI 변화

2.5 도암댐 유역 산림의 핵심지역 면적(TCA)

TCA(Total Core Area)는 핵심지역의 생태학적으로 개념을 도입하였을 경우 생물종의 외부로부터의 격리를 필요로 하는 임계면적을 말한다. 산림의 경관지수 분석 결과 S1구역의 1985년 산림 TCA 지수가 1512.6ha이었으며, 2000년도 산림 TCA 지수가 1238.7ha로 274.0ha 감소하였다. 즉 S1 구역의 핵심지수(TCA)가 감소하였다는 것은 산림의 파편화로 인하여 생물 내부의 종의 다양성과 건강성이 나쁨을 나타낸다. 그림 14는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 핵심지역 면적(TCA)의 등급을 6개 단계로 분석한 결과이다.

Forest-TCA

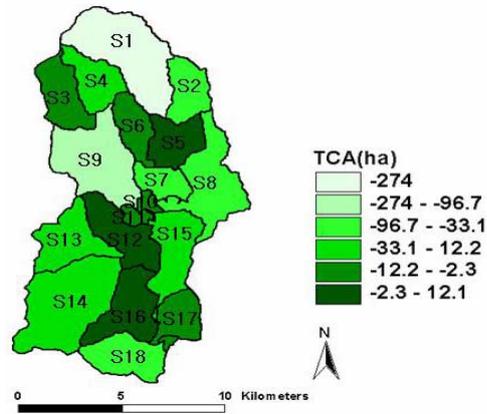


FIGURE 14. 산림지역의 TCA 변화

2.6 도암댐 유역 산림의 핵심지역 면적률(CPLAND)

산림의 경관지수 분석 결과 CPLAND(Core Area Percentage of Landscape)는 S1구역의 1985년 산림 CPLAND 지수가 89.8%이었으며, 2000년도 산림 CPLAND 지수가 73.5%로 16.3% 감소하였다. 즉 S1 구역의 핵심지역 면적률(CPLAND)이 감소하여 산림의 파편화가 있음을 알 수 있다. 그림 15는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 핵심지역 면적률(CPLAND)의 등급을 6개 단계로 분석한 결과이다.

Forest-CPLAND

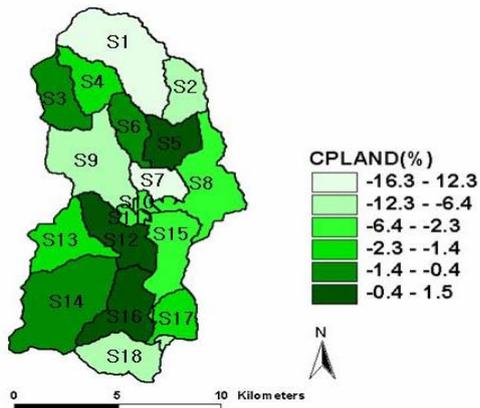


FIGURE 15. 산림지역의 CPLAND 변화

요약 및 결론

본 연구에서는 경관구조 해석 프로그램인 FRAGSTATS 모형을 이용하여 도암댐 유역을 대상으로 산림의 파편화 정도를 분석하였다. 본 대상지역은 도암댐 유역내 산림이 차지하고 있는 면적이 1985년에는 110.16km²이었으며, 2000년의 경우에는 산업화와 인위적인 개발로 인하여 5.98km² 감소하여 산림 가지고 있는 고유기능들이 상실되어 가고 있다. 따라서 본 연구에서는 도암댐 유역에서 1985년과 2000년 사이 산림의 파편화 정도를 정량적으로 분석하기 위하여 6개 경관지수를 이용하였고, 각 경관지수에 관해서는 가상적이면서 단순화된 경관(100m * 100m w/ 5m cell size, 파편화 전과 후)을 구성하여 설명하였다. 이러한 6개 경관지수를 이용하여 1985년과 2000년 사이 도암댐 19개 소유역중 가장 많은 파편화 과정을 거친 소유역을 대상으로 산림 파편화 양상을 분석 하였다. 총 6개 경관지수 분석결과 19개 소유역중 S1 소유역이 인위적인 개발 및 기존에 있던 산림의 초지 및 농업 지역으로 타 용도 전용으로 인하여 가장 많은 파편화가 진행된 유역으로 분석되었다.

본 연구의 결과는 인간의 무분별한 개발 사업에 따라 산림의 파편화를 사전에 예방하거나, 산림이 가지고 있던 고유한 기능을 회복시킬 수 있는 방안, 및 유역단위의 환경영향 평가와 토지이용 계획 수립을 위한 기초 자료로 제공될 수 있을 것으로 사료된다. 특히 지목상 임야로 되어 있는 산림지역의 농경지로의 불법전용으로 인한 산림파편화, 그로 인한 토양유실 및 하천으로의 유사발생, 유출수와 유사와 함께 이동되어 유입되는 각종 농약 및 영양염류의 유입으로 인해 악화된 도암댐 수계의 수질개선을 위한 우선관리 수계를 설정하는데 유용하게 사용될 수 있으리라 사료된다.

사 사

본 연구는 농촌진흥청 고령지 농업연구소와 강원대학교 농업과학연구소의 지원을 받아 수행된 연구입니다. 

참고 문헌

- 김기대, 길지현, 최병진, 서민환, 고강석, 최덕일. 1998. 환경영향평가서에 나타난 생태계 단편화 현황과 생태통로 조성실태. 한국환경영향평가학회. 7(2):15-27.
- 손학기, 김원주, 박종화. 2000. GIS 공간유형분석 모형을 이용한 경관 규모 생태계의 평가기법. 한국GIS학회지. 8(2): 233-241.
- 정성관, 박경훈, 오정학. 2002. 낙동강 유역의 선형개발사업이 산림 단편화에 미치는 영향. 환경영향평가 11(3):113-127.
- 평창군청. <http://www.happy700.or.kr>, Last accessed July 6, 2006
- Baker, W. L. and Cai, Y. 1992. The Role Programs for Multiscale Analysis of Landscape Structure using the GRASS Geographical Information System. Landscape Ecology 7:291-302.
- Elkie, P., R. Rempel and A. Carr. 1999. Patch Analyst User's Manual(NWST Technical Manual TM-002), Ontario 115:277-287.
- Herzog, F., A. Lausch, E. Muller, H. Thulke, E., U. Steinhardt and S. Lehmann. 2001. Landscape Metrics for Assesment of Landscape Destruction and Rehabilitation, Environmental Management 27(1):91-107.
- Hunsaker, Devine, D.A., Timmins, S.P., Jackson, B.L. and R.V. O' Neill. 1992. Landscape Characterization for Assessing Regional Water Quality. In Ecological Indicator, McKenzie, D. H., Hyatt, D. E. and McDonald, V. J. (eds). Elsevier Applied Science, New York, pp.997-1066.
- Jones, K. B., A. C. Neale, M. S. Nash, Van R. C. Remortel, J. D. Wickham, K. H. Ritters and R. V. O' Neill. 2001. Predicting Nutrient and Sediment Loadings to Streams from Landscape Metrics: A Multiple Watershed Study from the United States Mid-Atlantic Region. Landscape Ecology 16:301-312.
- MaGarigal, K and B. Mark. 1995. FRAGSTATS: Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying Landscape Structure. USDA Forest Service, General Technical Report PNW-GTR-351, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon pp.86-103.
- Tinker, D. B., C. A. C. Resor, G. P. Beauvais, K. F. Kipfmueller, C. I. Fernandes and W.L. Baker, 1998. Watershed Analysis of Forest Fragmentation by Clearcuts and Roads in Wyoming forest. Landscape Ecology 13:149-165. 