

FRAGSTATS 모형을 이용한 도암댐 유역의 경관 분석

Landscape Analysis due to Forest Fragmentations at Doam-dam Watershed using the FRAGSTATS Model

허성구* · 김기성* · 안재훈** · 윤정숙*** · 임경재* · 최중대* · 신용철* · 유창원*
강원대학교 농업생명과학대학* · 고령지농업연구소** · 인하대학교***
Sung-Gu Heo* · Ki-Sung Kim* · Jae-Hun Ahn** · Jong-Suk, Yoon*** ·
Kyoung Jae Lim* · Yong-Chul Shin* · Changwon Lyou* · Joongdae Choi*

*College of Agriculture, Kangwon National University ·

National Institute of Highland Agriculture · *Inha University ·

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 involvements. However, no thorough investigation of the landscape impacts of land use changes was performed at this watershed using 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. The results obtained in this study can be used to evaluate the water quality impacts of forest fragmentations/landuse 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

I. 서론

지난 수십 년간 인간위주의 각종 개발 사업으로 인하여 주거 · 상업 · 공업지역 등과 같은 도시 지역은 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 (김 등, 1998). 특히 우리나라 전 국토의 65% 정도를 차지하고 있는 산림은 수자원 함양, 대기 정화, 야생 동 · 식물의 서식지 제공 등의 기능을 담당하

고 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 해손을 방지하여 인간과 자연이 공생하는 환경을 조성하기 위해서는 경관구조를 정확하게 평가하는 것이 필요하다 ([순 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 과편화(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; 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 정 등([2002; Tinker et al., 1998; 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; Jones et al., 2001](#)). 최근에 와서는 Geographic Information System (GIS) 및 Remote Sensing (RS) 기술의 발달로 인하여 유역과 같은 광역적 공간규모의 경관요소(토지이용/토지파복)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 도암댐 수계지역은 지난 20여 년간 산림지역 상당부분이 농경지나 초지로 용지 전환되어 왔다. 이러한 산림의 과편화는 산림 고유의 기능의 손실뿐만 아니라, 도암댐 수계내 수(水)환경에 많은 영향을 미쳐왔다. 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 정략적 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.

II. 연구지역 선정 및 분석방법

1. 연구지역 선정

본 연구의 목적은 도암댐 수계내 토지이용변화에 따른 경관변화를 정량적으로 분석하는 것이다. 연구 대상지역인 도암댐 수계는 강원도 평창군 도암면에 속해있고, 동경 $128^{\circ} 37'$ ~ $128^{\circ} 47'$, 북위 $38^{\circ} 35'$ ~ $38^{\circ} 47'$ 에 위치해 있다 (그림 1). 도암댐 수계는 상대적으로 해발고도가 높은 고산지대로서, 지세, 토질, 기후 등이 고랭지 농업에 적합한 지역에 속한다. 도암면의 면적은 221.6km^2 로서 평창군 전체 면적 1463.7km^2 의 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/), <http://www.happy700.or.kr/>).

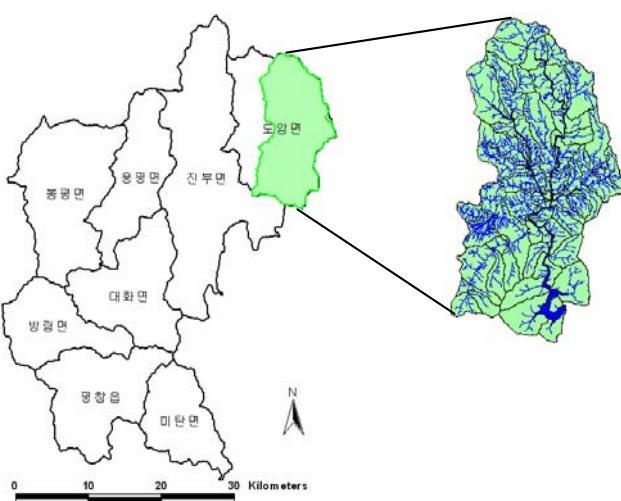


그림 1. 평창군 도암댐 수계

2. 도암댐 유역 토지이용 변화

도암댐 유역내 토지이용현황은 환경부에서 제공하는 토지이용도를 사용하였다. 1985년도 도암댐 유역의 토지이용 현황은 산림이 약 110.16km^2 를 차지하며, 농업지역이 24.74km^2 , 초지 8.26km^2 , 나지 1.19km^2 , 시가화 0.15km^2 , 수역이 0.10km^2 각각 차지하고 있다. 또한 2000년도 도암댐 유역 토지이용 현황은 산림이 약 104.18km^2 , 농업지역이 23.47km^2 , 초지 8.53km^2 , 나지 7.26km^2 , 수역 0.80km^2 , 시가화가 0.34km^2 로 각각 차지하고 있다 (그림 2).

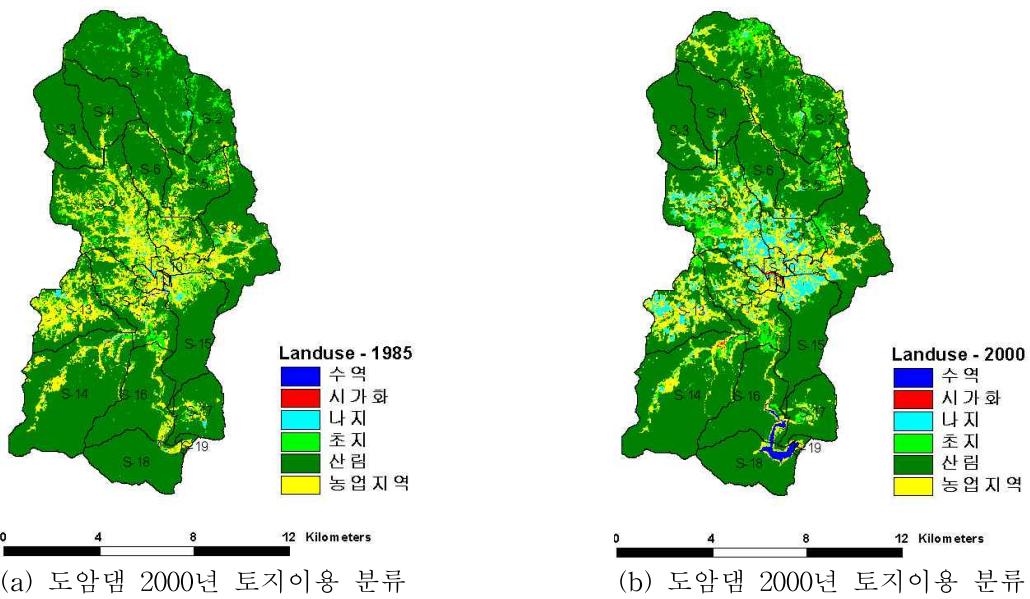


그림 2. 도암댐 수계 토지이용 분류 (1985년과 2000년 토지이용, 환경부 제공)

3. 도암댐 소유역 년도별 토지이용도

본 연구의 목적은 도암댐 수계내 토지이용변화에 따른 경관변화를 정량적으로 분석하는 것이다. 이 연구의 결과가 고령지 지역에서 토지이용변화가 유역단위의 수환경에 미치는 영향 평가의 기초자료로 이용될 수 있도록 도암댐 수계를 총 19개의 소유역으로 구분하였다 (그림 3).

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 3 (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 3 (b)).

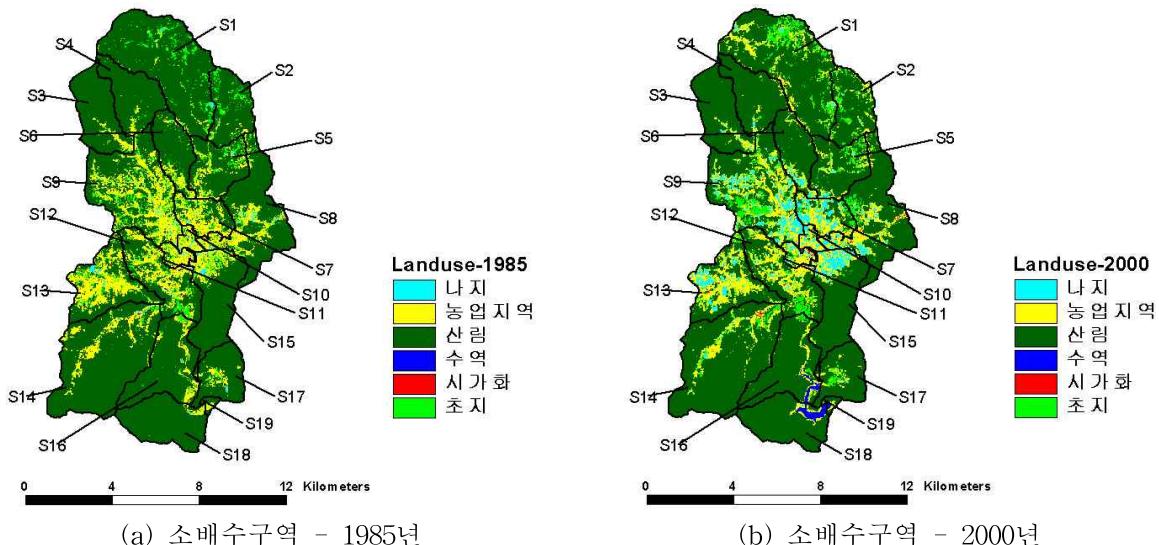


그림 3. 소배수구역의 분류 (1985년과 2000년 토지이용, 환경부 제공)

4. 경관구조 해석 모형의 적용

4.1 FRAGSTATS 모형 개요

McGarigal and Marks (1995)가 개발한 경관구조 해석 프로그램인 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 입력자료에 대하여 패치(Patch), 클래스(Class), 경관(Landscape) 별로 40개 이상의 경관지수를 계산할 수 있다. 패치는 같은 셀값을 갖는 인접한 Raster Cell의 그룹을, Class는 공동의 셀값을 갖는 패치의 집합을 의미하고, 경관(Landscape)은 특정 환경내의 전체를 Class집합으로 나타낸다 (鄭, 2004).

4.2 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), 5) 형태 지수(Shape metrics), 6) 다양성 & 산재성 지수(Diversity & Interspersion metrics), 6) 핵심 지수(Core area metrics)로 구분되어 있다(Elkie et al., 1999).

4.3 FRAGSTATS 경관 지수 선정

경관지수의 선정에 있어 구조적 패턴은 McGarigal과 Markes (1995)가 제안한 크기, 밀도, 가장자리, 형태, 핵심구역 등에 관련된 경관지수 중 파편화(Fragmentation)정도를 가장 잘 나타낼 수 있는 경관지수 LPI, NUMP, TE, PD, LSI, PLAND, CPLAND, DCAD, NDCA, TCA 총 11가지 지수를 선정하여 분석 하였다 (표 1).

표 1. 경관분석 지수별 인자 (McGarigal & Markes, 1995)

Category	Index	Description	Unit
Area Density Edge	LPI	경관 최대패치 면적 비율	%
	NUMP	패치 수	-
	TE	총 가장자리(길이)	m
	PD	패치 밀도	number/100ha
	ED	가장자리 밀도	m/ha
Patch Shape	LSI	경관형태 지수	-
	PLAND	경관면적 비율	%
Core Area	CPLAND	경관에서의 핵심지역의 면적율	%
	DCAD	분리된 핵심구역 밀도	number/100ha
	NDCA	분리된 핵심구역 수	-
	TCA	전체 핵심지역 면적	ha

4.4 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 11가지 경관지수 - PLAND, NUMP, PD, LPI, TE, ED, LSI, TCA, CPLAND, NDCA, DCAD - (MaGarigal and Marks, 1995)를 이용하였다. 본 연구에서 이용된 11가지 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 경관내의 각 패치의 총합 비율 및 총 클래스(Class) 면적을 나타내는 지수로 식 1과 같다. 그림 4에서 보면 각각의 패치 1, 패치 2, 그리고 패치 3의 면적비율은 파편화 전과 후 모두 각각 36%, 32%, 그리고 32% 였다. 따라서 경관 변화를 분석하는데 있어서 PLAND 지수만으로는 경관의 파편화를 제대로 반영할 수 없는 단점이 있으나 토지이용의 변화를 개략적으로 살펴보는데 이용할 수 있다.

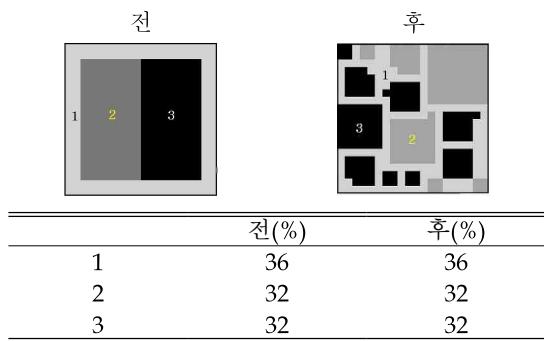


그림 4. 경관내의 각각의 패치의 총합비율

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

a_{ij} = 패치 ij의 면적(m^2)

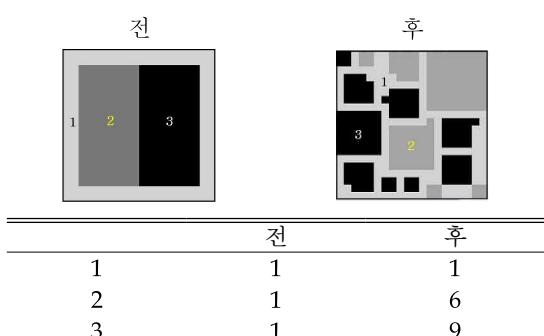
A = 총 경관면적(m^2)

단위 : %

범위 : $0 < PLAND \leq 100$

(2) NUMP (Number of Patches): 패치수

NUMP(Number of Patches)는 각각 1, 2, 그리고 3의 셀값을 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.



$$NUMP = n_i \quad \dots \dots \dots \quad (2)$$

N = 경관안에 있는 패치의 총 수

단위 : 없음

범위 : $NP \geq 1$

그림 5. 경관내의 개개에 대한 패치수

(3) PD(Patch Density): 패치 밀도

PD(Patch Density)는 단위면적(100ha)당 패치수를 의미하는 것으로 (식 3) 서로 면적이 동일하더라도 그 수에 따라 밀도가 다르기 때문에 패치의 연결성 또는 쪼개짐 정도를 알 수 있다. 물론 PD 단독으로 경관의 구조적 안정성 또는 생태적 기능성 등을 평가하는 것은 불가능하지만, 100ha 당 경관의 수를 기준으로 볼 때, 그 값이 클수록 구조적으로 불안정한 상태를 의미한다. 그럼 6은 과편화 전과 후의 패치밀도를 나타내는 것으로, 이는 100ha 별 경관 패치수 (NUMP)를 나타내는 것이다. 패치밀도는 아래 그림 6과 같이 과편화에 따라 차이가 있음을 알 수 있다.

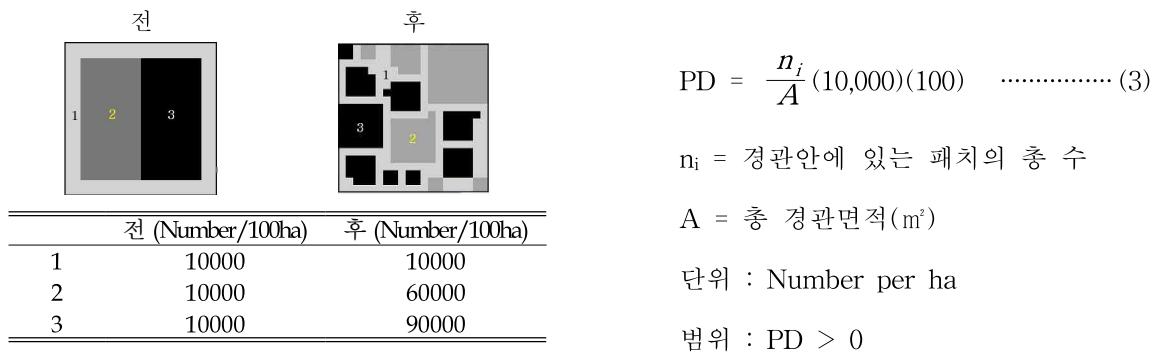


그림 6. 경관내의 패치 밀도

(4) LPI(Largest Patch Index): 경관 최대 패치면적 비율

LPI(Largest Patch Index)는 경관내에서의 가장 큰 패치로 구성된 패치의 면적 비율을 의미한다 (식 4). 그림 7에서 보이는 바와 같이 과편화 전에는 셀값이 3인 클래스중 가장 큰 패치의 면적비율이 32% 이었으나, 과편화로 인해서 셀값이 3인 클래스중 가장 큰 패치 (과편화 후 '3' 이라 표기된 패치 - 그림 7의 '후')의 면적이 전체 경관내에서 9%로 감소하였다.

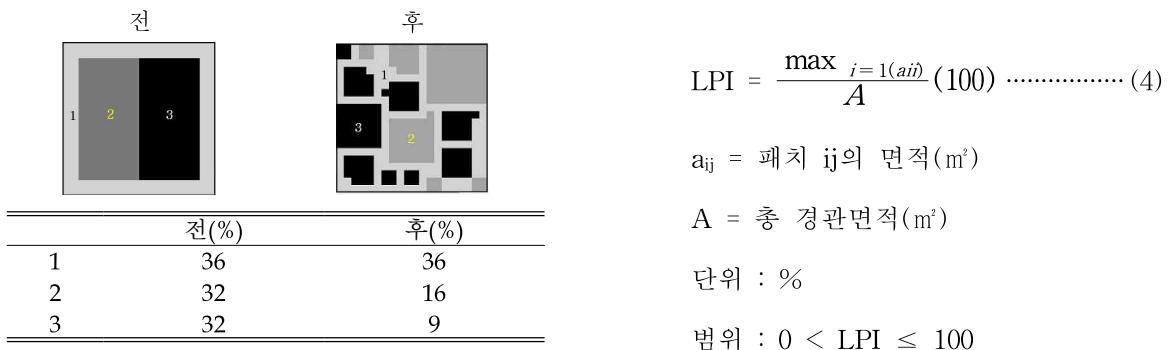


그림 7. 경관내의 최대 패치면적 비율

5) TE(Total Edge): 총 가장자리 길이

TE(Total Edge)는 특정한 경관내에서의 패치의 유형에 따라 총 가장자리(Edge) 길이를 나타내는 지수로 식 5와 같다. 그림 8에서 보이는 바와 같이 과편화 전에 클래스 2와 3 (셀값이 2와 3) 의 총 가장자리 길이는 24m로 동일하였으나, 과편화로 인해서 클래스 2 (셀값이 2)에 속한 패

치의 총 가장자리 길이가 35m로 증가함을 알 수 있고 클래스 3 (셀값이 3)에 속한 패치의 총 가장자리 길이가 61m로 증가함을 알 수 있다. 따라서 TE의 값이 커질수록 과편화가 심해졌다는 것을 알 수 있다.

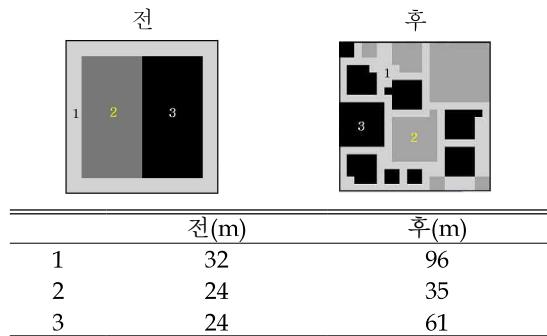


그림 8. 경관내의 총 가장자리(길이)

e_{ik} = 경관안에서의 가장자리 총 길이(m)

단위 : m

범위 : $TE \geq 0$

(6) ED(Edge Density): 가장자리 밀도

ED(Edge Density)는 패치의 총 가장자리 길이의 합계를 면적 합계로 나눈 값을 의미하며 그식은 (6)과 같다. 가장자리 밀도는 패치의 형태에 많은 영향을 받게 된다. 그럼 9에서 보이는 바와같이 총 가장자리 길이(TE)값이 증가하기 때문에 그에 따라 가장자리 밀도 (ED) 또한 증가함을알 수 있다. 즉 면적이 동일하더라도 (클래스 2와 3) 가장자리에 굴곡이 많으면 그 만큼 둘레길이가 늘어나기 때문에 가장자리의 밀도는 증가하게 된다. 즉 값이 클수록 형태가 복잡함을 의미한다.

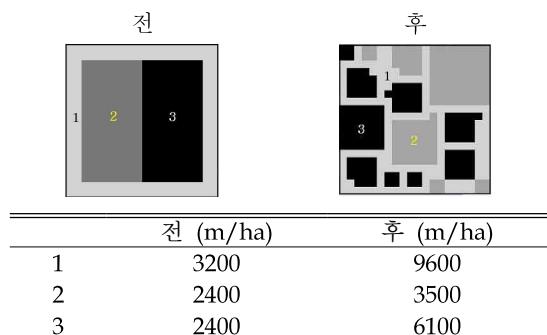


그림 9. 경관내의 가장자리 밀도

$$\text{ED} = \frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000) \quad \dots \quad (6)$$

e_{ik} = 경관악에서의 가장자리 총 길이(m)

$$A = \text{총 경과 면적} (m^2)$$

단위 : m per ha

$$\text{범위} : ED \geq 0$$

(7) LSI(Landscape Shape Index): 경관 형태지수

LSI(Landscape Shape Index)는 경관내에 속하는 모든 가장자리길이(m)의 총합을 클래스(Class)면적의 평방근으로 나눈 값은 의미하는 지수로 식 7과 같다. 정사각형의 형태를 가진 패치의 경우 LSI 값이 1이다. 그럼 10에서 보이는 바와 같이 산림 파편화에 따라 경관이 복잡해질

질수록 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 (셀값이 1인 패치)의 TE, ED, 그리고 LSI 값이 크고 클래스 2 (셀값이 2인 패치)의 TE, ED, LSI 값이 작다.

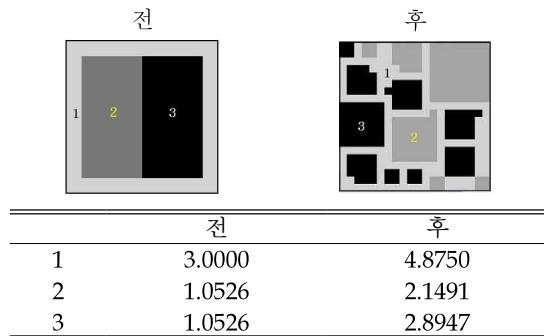


그림 10. 경관내의 형태지수

$$\text{LSI} = \frac{0.25 \sum_{k=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}} \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

e_{ik} = 경관안에서의 가장자리 총 길이(m)

$$A = \sqrt{\text{총경관면적}} (m^2)$$

단위 : 없음

범위 : LSI ≥ 1

8) TCA(Total Core Area): 전체 핵심지역 면적

TCA (Total Core Area)는 경관내에서의 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 8과 같다. 이 핵심지역 면적은 가장자리 폭을 얼마만큼 설정하는가에 따라 핵심지역 면적 차이가 있다. 그림 11에서 보이는 바와 같이 가장자리 폭에 따라 클래스 2 (셀값이 2인 패치들) 와 클래스 3 (셀값이 3인 패치들) 의 핵심구역 면적이 차이가 있음을 알 수 있다.

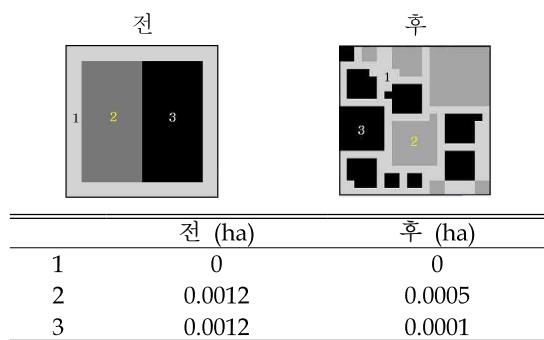


그림 11. 경관내의 전체 핵심지역 면적

$$\text{TCA} = \sum_{i=1}^n a_{ijq}^c \left(\frac{1}{10,000} \right) \dots \dots \dots (8)$$

a_{ij}^c = 패치 ij의 핵심지역 면적 (m^2)

단위 : ha

범위 : $TCA \geq 0$.

(9) CPLAND(Core Area Percentage of Landscape): 경관에서의 핵심지역의 면적율

CPLAND (Core Area Percentage of Landscape)는 경관 내에서 가장 핵심이 되는 지역의 면적율을 나타내는 지수로 식 9와 같다. 그림 12에서 보이는 바와 같이 가장자리 폭에 따라 클래스 2 (셀값이 2인 패치들) 와 클래스 3 (셀값이 3인 패치들) 의 핵심구역 면적 백분률이 차이가 있음을 알 수 있다.

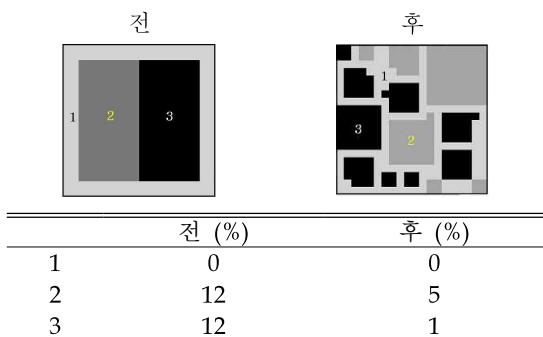


그림 12. 경관에서의 핵심지역의 면적율

$$CPLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}^c}{A} (100) \quad \dots\dots\dots (9)$$

a_{ij}^c = 패치 ij의 핵심지역 면적(m^2)

A = 총 경관면적(m^2)

단위 : %

범위 : $0 \leq CPLAND < 100$

(10) NDCA(Number of Disjunct Core Areas) : 분리된 핵심구역 수

NDCA(Number of Disjunct Core Areas)는 경관안에서의 각 핵심구역이 수치적으로 얼마만큼이나 분리되어 있는가를 나타내는 지수로 식 10과 같다. 그림 13에서 보이는 바 (그림 13의 '후')와 같이 셀값이 2인 패치중 가장자리 폭을 제외한 핵심구역을 가진 패치는 2개이다 (가운데와 우측상단). 반면 셀값이 3인 패치중 가장자리 폭을 제외한 핵심구역을 가진 패치는 1개 (좌측중간)이다. 이 NDCA 지수는 핵심구역의 분포를 나타내는 지수로 그 값의 대소로 과편화 정도를 단정 지을 수는 없지만, 적어도 얼마나 핵심구역이 분리되어 있는지를 판단할 수 있는 지수이다.

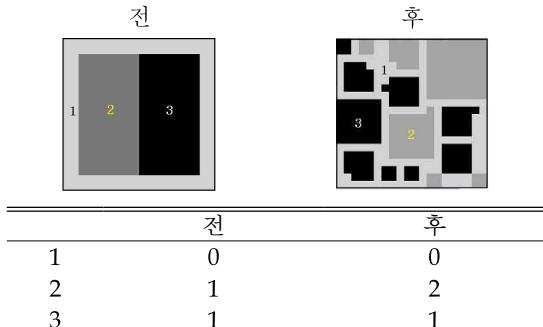


그림 13. 경관에서의 분리된 핵심구역 수

$$NDCA = \sum_{j=1}^n n_{ij}^c \quad \dots\dots\dots (10)$$

n_{ij}^c = 패치 ij의 분리된 핵심구역 수

단위 : 없음

범위 : $NDCA \geq 0$

(11) DCAD(Disjunct Core Area Density): 분리된 핵심구역 밀도

DCAD(Disjunct Core Area Density)는 경관안에서의 단위면적(100ha)당 핵심구역의 수를 의미하는 것으로 핵심구역이 수치적으로 얼마만큼이나 분리되어 있는가를 나타낸다 (식 11). 이 DCAD는 NDCA 와 같은 개념으로 해석될 수 있다. DCAD는 분리된 핵심구역의 밀도를 나타내는 지수로 그 값의 대소로 과편화 정도를 단정 지을 수는 없지만, NDCA 와 같이 적어도 얼마나 핵심구역이 분리되어 있는지를 판단할 수 있는 지수이다.

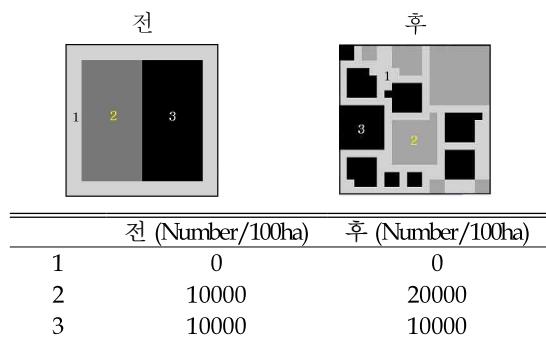


그림 14. 경관에서의 분리된 핵심구역 밀도

$$DCAD = \frac{\sum_{j=1}^n n_{ij}^c}{A} (10,000)(100) \cdots \cdots (11)$$

n_{ij}^c = 패치 ij의 분리된 핵심구역 수

A = 총 경관면적 (m^2)

단위 : Number per 100 hectares

범위 : DCAD ≥ 0

4.5 FRAGSTATS 모델을 이용한 산림 과편화 분석

본 연구에서는 위에 설명된 11개의 경관지수를 이용하여 1985년부터 2000년사이에 도암댐 유역에서 발생한 산림의 과편화 정도를 정량적으로 분석하였다. 이를 위해서 앞에서 기술한 바와 같이 도암댐 유역을 19개의 소유역으로 분류한 후, 각 소유역별 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 이용하였다.

III. 결과 및 고찰

1. FRAGSTATS 모델을 이용한 소유역별 산림 과편화 양상 분석 결과

도암댐 유역내의 총 19개 소유역별 산림 과편화 정도를 파악하기 위해서는 전체 산림면적의 변화뿐만 아니라 산림 조각들이 얼마나 작은 조각들로 과편화되었는지를 파악하는 것이 중요하다. 표 2는 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 하여 19개 소유역별로 산정한 PLAND, NUMP, 그리고 LPI 경관지수 값이다.

1.1 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 경관 분석 결과 총 19개 소유역중 S1 유역의 산림 PLAND 값이 가장 많이 변화하여 S1 유역이 과편화(Fragmentation)가 가장 심한 것으로 분석되었다. 그림 15는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 패치 총합 비율(PLAND)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

1.2 도암댐 유역 산림의 패치 수(NUMP)

NUMP(Number of Patches)는 경관에서 패치의 총 개수 및 각 클래스 개개에 대한 패치수를 나타내는 지수로, 토지의 과편화 정도를 알 수 있는데, 같은 면적일 때 패치수가 많을수록 과편화 정도가 높다는 것을 나타내며, 생태계가 인간의 관심을 많이 받은 정도가 높다는 것을 의미한다. 산림의 경관지수 분석 결과 총 19개 소유역중 S1 유역의 1985년도 산림 NUMP는 10개였으며, 2000년도 산림 NUMP는 50개로 무려 40개의 증가를 보여 19개 소유역중 S1 유역에서 가장 많은 과편화가 진행되었음을 알 수 있다. 그림 16은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 패치 수(NUMP)의 편차를 6개 단계로 분석결과이다.

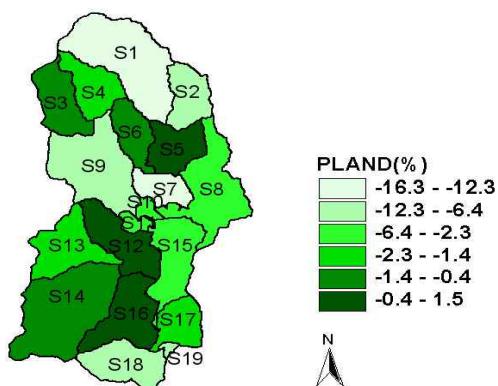
1.3 도암댐 유역 산림의 경관 최대 패치면적 비율(LPI)

LPI(Largest Patch Index)는 가장 큰 산림패치가 소유역에서 차지하는 비율을 측정한 지수로 과편화 정도를 의미한다. 산림의 경관지수 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 과편화가 많은 발생한 유역으로 분석 되었다. 그림 17은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 경관 최대 패치 면적 비율(LPI)의 편차를 6개 단계로 분석결과이다.

표 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

Forest-PLAND



Forest-NUMP

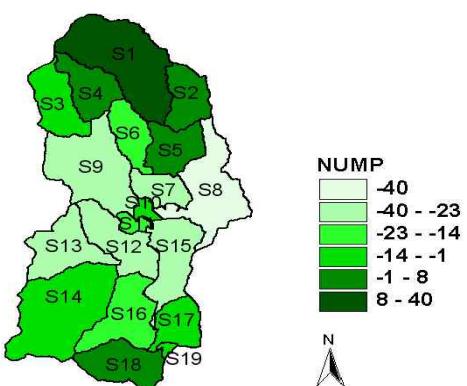


그림 15. 산림지역의 패치비율(PLAND) 변화 그림 16. 산림지역의 패치수(NUMP) 변화

Forest-LPI

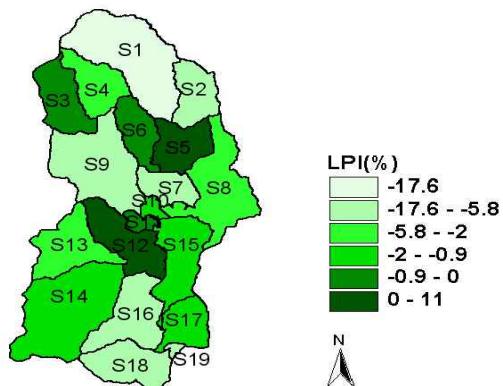


그림 17. 산림지역의 경관 최대 패치면적 비율 (LPI) 변화

표 3은 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 하여 19개 소유역별로 산정한 산림경관지수 (PD, TE, ED) 경관지수 값이고, 표 4는 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 하여 19개 소유역별로 산정한 산림경관지수(LSI, TCA, CPLAND)값이다. 표 5는 1985년과 2000년 토지이용자료를 FRAGSTATS 모형의 입력 자료로 하여 19개 소유역별로 산정한 산림경관지수 (NDCA, DCAD) 값이다.

1.4 도암댐 유역 산림의 패치 밀도(PD)

PD (Patch density)는 단위면적당(100ha) 패치의 수를 의미하는 지수로서, 산림의 경관지수 분석 결과 S1유역 1985년도 산림 PD 지수가 0.6 이었으며, 2000년도 산림 PD 지수가 3.0으로 2.4 증가하였다. S11 유역이 산림 PD 지수가 32.6 이었으며, 2000년도 산림 PD 지수가 17.5로 -15.0 감소하였다. PD 지수 단독으로 산림경관의 구조적 안정성 또는 생태적 기능성 등을 평가하는 것은 불가능하지만 100ha 당 산림경관의 수를 기준으로 볼 때, 그 값이 증가할수록 구조적 불안정한 상태라 할 수 있다. 또한 PD 지수값이 증가할수록 산림의 연결성이 낮다는 것을 의미하며, 인위적인 압력에 의해서 단절된 패치가 증가하여 S1 유역의 PD 지수가 증가한 것으로 분석되었다. 그림 18은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 패치 밀도(PD)의 편차를 6개 단계로 분석결과이다.

1.5 도암댐 유역 산림의 가장자리 길이(TE)

TE (Total Edge)는 두 지역의 경계부분에 위치하여 두 지역의 식물·동물 군집이 겹쳐서 나타나므로 이 지수 값이 높을수록 생물 고유 내부 종의 점유율은 낮으나 종 다양성과 생태적 잠재력이 높다고 볼 수 있다. 산림의 경관지수 분석 결과 S1유역의 1985년도 산림 TE 지수가 91,980 m 이었으며, 2000년도 산림 TE 지수가 143,460 m로 51,480m 증가하였다. 즉 S1 유역의 경우 산림의 파편화로 인하여 TE 값이 높아 가장자리 길이가 크다. 그림 19는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 가장자리 길이(TE)의 편차를 6개 단계로 분석결과이다.

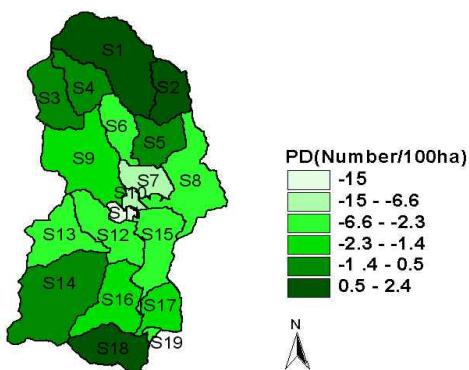
1.6 도암댐 유역 산림의 가장자리 밀도(ED)

ED (Edge density)는 동일한 면적이라도 가장자리 굴곡이 많으면 그 만큼의 TE의 둘레 길이가 늘어나기 때문에 과편화가 많이 되면 될 수록 증가되는 지수이다. 산림의 경관지수 분석 결과 S1유역의 1985년 산림 ED 지수가 54.6m/ha 이었으며, 2000년도 산림 ED 지수가 85.2m/ha로 30.6m/ha 증가 하였다. 즉 S1 유역에서의 ED 값이 높다는 것은 유역내 경관 형태가 복잡하며, 과편화가 심하다는 것을 의미한다. 그럼 20은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림 지역의 가장자리 밀도(ED)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

표 3. 도암댐 소유역별 경관지수(PD, TE, ED) 분석

ID	PD (Number/100ha)			TE (m)			ED (m/ha)		
	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)
S1	0.594	2.969	2.375	91,980	143,460	51,480	54.609	85.172	30.564
S2	1.732	2.770	1.039	49,200	51,120	1,920	85.190	88.515	3.325
S3	1.155	0.867	-0.289	16,470	12,630	-3,840	23.785	18.239	-5.546
S4	0.321	0.802	0.481	13,380	14,490	1,110	21.462	23.242	1.781
S5	4.781	5.111	0.330	66,600	56,400	-10,200	109.792	92.977	-16.815
S6	5.974	3.186	-2.788	32,340	23,550	-8,790	64.397	46.894	-17.503
S7	17.905	11.348	-6.557	54,660	37,620	-17,040	137.842	94.871	-42.972
S8	7.480	4.228	-3.252	76,650	63,150	-13,500	62.320	51.344	-10.976
S9	10.941	8.920	-2.021	197,370	140,580	-56,790	137.544	97.968	-39.576
S10	23.280	15.873	-7.407	6,000	4,440	-1,560	63.492	46.984	-16.508
S11	32.557	17.531	-15.026	10,860	7,890	-2,970	90.659	65.865	-24.793
S12	10.813	6.960	-3.853	94,860	81,150	-13,710	117.897	100.858	-17.040
S13	10.124	7.146	-2.978	89,910	65,490	-24,420	107.085	78.001	-29.085
S14	1.605	1.273	-0.332	73,920	60,360	-13,560	40.913	33.408	-7.505
S15	4.608	1.958	-2.649	27,300	15,540	-11,760	31.447	17.900	-13.546
S16	3.150	1.575	-1.575	34,440	25,140	-9,300	38.743	28.281	-10.462
S17	1.784	0.397	-1.388	22,680	19,680	-3,000	44.968	39.020	-5.948
S18	0.270	1.351	1.081	6,240	6,990	750	8.432	9.445	1.014
S19	6.959	4.639	-2.320	1,530	2,190	660	35.491	50.800	15.310

Forest-PD



Forest-TE

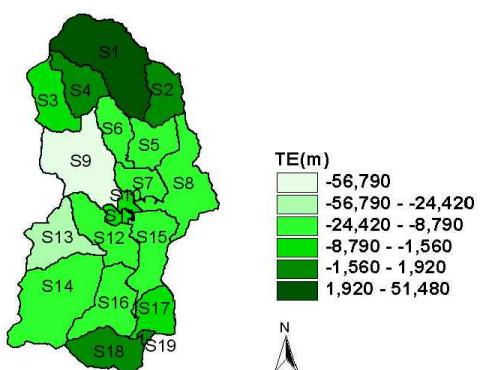


그림 18. 산림지역의 패치 밀도(PD) 변화

그림 19. 산림지역의 가장자리 길이(TE) 변화

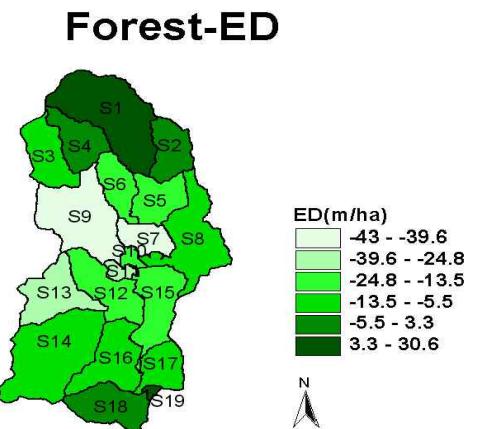


그림 20. 산림지역의 가장자리 밀도(ED) 변화

1.7 도암댐 유역 산림의 경관형태 지수(LSI)

LSI(Landscape Shape Index)는 경관 형태지수는 패치의 모양의 복잡성을 기준으로 경관의 형태를 정량화 한 것으로 경관 형태지수로, 산림의 경관지수 분석 결과 S1유역의 1985년 산림 LSI 지수가 7.2 이었으며, 2000년도 산림 LSI 지수가 11.1로 3.9 증가 하였다. 즉 S1 유역 산림의 패치 모양이 가장 불규칙하고 복잡한 것으로 추정할 수 있다. 그림 21은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 경관 형태지수(LSI)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

1.8 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 S1유역의 1985년 산림 TCA 지수가 1512.6ha이었으며, 2000년도 산림 TCA 지수가 1238.7ha로 274.0ha 감소하였다. 즉 S1 유역의 핵심지역 면적 (TCA)가 감소하였다는 것은 산림의 파편화로 인하여 생물 내부의 종의 다양성과 건강성이 나쁨을 나타낸다. 그림 22은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 핵심지역 면적(TCA)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

1.9 도암댐 유역 산림의 핵심지역 면적률(CPLAND)

산림의 경관지수 분석 결과 CPLAND(Core Area Percentage of Landscape)는 S1유역의 1985년 산림 CPLAND 지수가 89.8%이었으며, 2000년도 산림 CPLAND 지수가 73.5%로 16.3% 감소하였다. 즉 S1 유역의 핵심지역 면적률 (CPLAND)이 감소하여 산림의 파편화가 있음을 알 수 있다. 그림 23은 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 핵심지역 면적률(CPLAND)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

표 4. 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

그림 21. 산림지역의 경관 형태지수(LSI) 변화

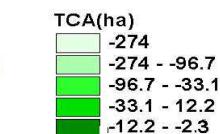
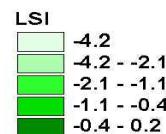
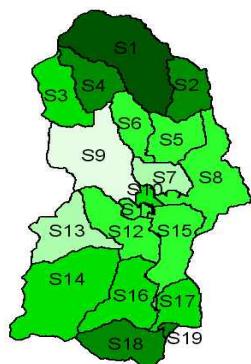


그림 22. 산림지역의 핵심지역 면적(TCA) 변화

2006년도 한국농공학회 학술발표회 논문집 (2006년 10월 26일)

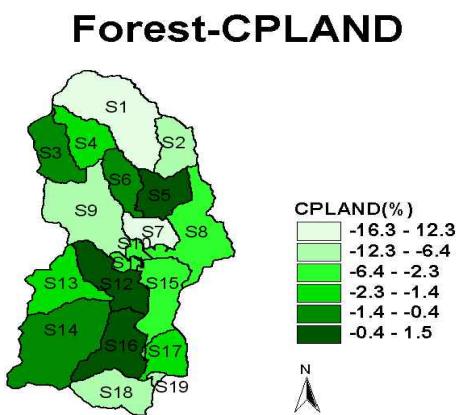


그림 23. 산림지역의 핵심지역 면적률(CPLAND) 변화

1.10 도암댐 유역 산림의 분리된 핵심구역 수(NDCA)

산림의 경관지수 분석 결과 NDCA(Number of Disjunct Core Areas)는 S1유역이 1985년 산림 NDCA 지수가 10 이었으며, 2000년도 산림 NDCA 지수가 50으로 40 증가 하였다. 즉 S1 유역에서 산림의 분리된 핵심구역 수 (NDCA)가 높게 분석되어 과편화가 진행되었다는 것을 알 수 있다. 그림 24는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 분리된 핵심구역 수 (NDCA)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

1.11 도암댐 유역 산림의 분리된 핵심구역 밀도(DCAD)

산림의 경관지수 분석 결과 DCAD (Disjunct Core Area Density)도 마찬가지로 S1유역이 1985년 산림 DCAD 지수가 0.6 이었으며, 2000년도 산림 DCAD 지수가 3.0로 2.4 증가 하였다. 즉 S1 유역에서 산림의 분리된 핵심구역 밀도 (DCAD)가 높게 분석되어 과편화가 진행되었다는 것을 알 수 있다. 그림 25는 도암댐 19개 소유역에 대해 1985년과 2000년도 산림지역의 분리된 핵심구역 밀도(DCAD)의 편차를 6개 단계로 분석한 결과이다.

표 5 도암댐 소유역별 경관지수(NDCA, DCAD) 분석

ID	NDCA			DCAD (Number/100ha)		
	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)	1985(A)	2000(B)	변화(B-A)
S1	10	50	40	0.594	2.969	2.375
S2	10	16	6	1.732	2.770	1.039
S3	8	6	-2	1.155	0.867	-0.289
S4	2	5	3	0.321	0.802	0.481
S5	29	31	2	4.781	5.111	0.330
S6	30	16	-14	5.974	3.186	-2.788
S7	71	45	-26	17.905	11.348	-6.557
S8	92	52	-40	7.480	4.228	-3.252
S9	157	128	-29	10.941	8.920	-2.021
S10	22	15	-7	23.280	15.873	-7.407
S11	39	21	-18	32.557	17.531	-15.026
S12	87	56	-31	10.813	6.960	-3.853
S13	85	60	-25	10.124	7.146	-2.978
S14	29	23	-6	1.605	1.273	-0.332
S15	40	17	-23	4.608	1.958	-2.649
S16	28	14	-14	3.150	1.575	-1.575
S17	9	2	-7	1.784	0.397	-1.388
S18	2	10	8	0.270	1.351	1.081
S19	3	2	-1	6.959	4.639	-2.320

Forest-NDCA

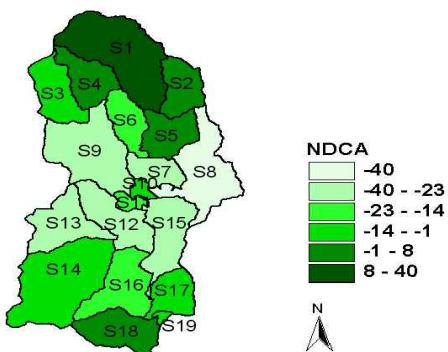


그림 24. 산림지역의 분리된 핵심구역 수
(NDCA)

Forest-DCAD

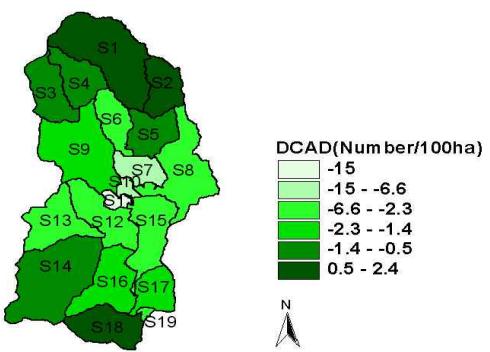


그림 25. 산림지역의 분리된 핵심구역 밀도
(DCAD)

IV. 요약 및 결론

본 연구에서는 경관구조 해석 프로그램인 FRAGSTATS 모형을 이용하여 도암댐 유역을 대상으로 산림의 파편화 정도를 분석하였다. 본 연구에서는 도암댐 유역에서 1985년과 2000년 사이 산림의 파편화 정도를 정량적으로 분석하기 위하여 11개 경관지수를 이용하였고, 각 경관지수에 관해서는 가상적이면서 단순화된 경관 ($100m * 100m$ w/ 5m cell size, 파편화 전과 후)를 구성하여 설명하였다. 이러한 11개 경관지수를 이용하여 1985년과 2000년 사이 도암댐 19개 소유역 중 가장 많은 파편화 과정을 거친 소유역을 대상으로 산림 파편화 양상을 분석 하였다. 총 11개 경관지수 분석 결과 19개 소유역 중 S1 소유역이 인위적인 개발 및 기존의 있던 산림의 초기 및 농업 지역으로 타용도 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.

참고문헌

1. 김기대, 길지현, 최병진, 서민환, 고강석, 최덕일, 1998. 환경영향평가서에 나타난 생태계 단편화 현황과 생태통로 조성실태. *한국환경영향평가학회*. 7(2):15-27.
2. 손학기, 김원주, 박종화, 2000. GIS 공간유형분석 모형을 이용한 경관 규모 생태계의 평가기법. *한국GIS학회지*. 8(2): 233-241.
3. 정성관, 박경훈, 오정학, 2002. 낙동강 유역의 선형개발사업이 산림 단편화에 미치는 영향. *환경영향평가* 11(3):113-127.
4. 평창군청, <http://www.happy700.or.kr>, Last accessed July 6, 2006
5. 鄭會勳, 淀川智之, 矢澤正士, 2004. 耕作放棄地を有する農業集落の空間構造的特性, 農村計劃論文集
6. 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.
7. Elkie, P., Rempel R., and Carr, A., 1999. Patch Analyst User's Manual (NWST Technical Manual TM-002), Ontario.
8. Herzog, F., Lausch, A., Muller, E., Thulke, H. E., Steinhardt, U., and Lehmann, S., 2001. Landscape Metrics for Assement of Landscape Destruction and Rehabilitation, Envioronmental Management 27(1):91-107.
9. Hunsaker, Devine, D.A., Timmins, S.P., Jackson, B.L. and O' Neill, R.V. 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.
10. Jones, K. B., Neale, A. C., Nash, M. S., Van Remortel, R. C., Wickham, J. D., Riitters, K. H. and O' Neill, R. V. 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.
11. MaGarigal, K., and Mark, B., 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.
12. Tinker, D. B., Resor, C. A. C., Beauvais, G. P., Kipfmuller, K. F., Fernandes, C. I. and Baker, W.L., 1998. Watershed Analysis of Forest Fragmentation by Clearcuts and Roads in Wyoming forest. *Landscape Ecology* 13:149-165.