

연구논문

오산천 유역의 불투수면 비율 변화에 따른 경관구조 분석

장 수 환

한국환경정책·평가연구원

(2008년 9월 5일 접수, 2008년 10월 13일 승인)

A Study on a Landscape Structure as a Change of Impervious Cover Rate in the Osan-cheon Watershed

Jang Su Hwan

Korea Environment Institute

(Manuscript received 5 September 2008; accepted 13 October 2008)

Abstract

An impervious cover is one of most important factors which effect on a water body environment in a watershed. There are many researches on the impact of an impervious cover on water quality, quantity and ecosystem and most of these researches have been focused on an impervious rate or area in a watershed without considering structure features as like shape, edge, connection of impervious cover. In this study, we focused on a landscape structure which includes shape, density, contiguity, distance, aggregation of land cover type as well as area and rate. The calculation of a landscape indices made to analyse a landscape structure is conducted by applying Fragastats 3.3 program.

Osan-cheon watershed where has rapidly urbanized is selected as a study field. Land information for 2002 and 2007 is from land classification maps provided by Ministry of Environment. The result shows that the increasing rate of an impervious cover is more conspicuous in Kiheung dam watershed but the fragment of impervious cover areas is shown remarkably in the Osan sub-watershed. The trend of aggregation and connection of impervious covers is increasing. But it was very difficult to say that which type of landscape structure is more beneficial for a watershed management.

The implication of this study is to find the need to come over the conventional ways to evaluate landscape structure of a watershed such as rates and areas of impervious cover, and define the importance of landscape feature as like connection, distance, edge density, fragment of impervious covers.

Keywords : Impervious cover, land use, land cover, Landscape Structure, Landscape Index, watershed

I. 서론

Galli(1991)와 Schueler(1994)이후 많은 유역 연구에서 볼 수 있듯이 유역 연구의 초점은 토지피복 변화에 의한 유출량 변화, 투수면과 불투수면의 증가에 의한 생태계, 수온, 수질변화에 대한 것이었다. 물은 이동하는 공간인 토지의 피복 상태에 의해 수질과 수량을 포함한 수환경이 변화한다. 따라서 투수면과 불투수면의 면적, 패턴, 연결 등은 물의 이동에 영향을 주는 변수가 될 수 있다(Johnson and Patil, 2006). 이러한 변수들은 경관학에서 관심을 가지고 있는 변수들로 경관구조에 관한 지수를 산정하는 프로그램에 의해 도출될 수 있다. 경관구조는 경관의 공간적 유형이나 배열 상태이며, 이 경관구조 내에서 동식물과 물, 바람, 물질, 에너지의 이동과 흐름이 일어난다(이도원, 2001). 본 연구에서는 경관의 기능 중 물의 이동에 초점을 두고 물의 이동에 영향을 줄 수 있다고 판단되는 경관지수를 중심으로 토지이용변화에 따른 경관지수의 변화를 살펴보고자 한다. 여기서 물의 이동에 영향을 줄 것으로 판단하고 산출한 지수의 특징은 토지유형의 면적, 형태, 가장자리, 연결성 및 결합성에 대한 정보를 지닌 지수들이다. 특히 투수면과 불투수면의 면적과 분절형태 그리고 연결성은 물의 이동에 영향을 준다고 판단하였다.

II. 공간분석 방법

1. 경관생태적 접근방법

경관생태학은 환경구성요소들의 배치에 의해 영향을 받는 환경의 질에 관심을 두고 있으며 배치에 따라 달라지는 환경영향을 규명하는 데 관심을 가지고 있다. 본 연구에서 관심을 갖고 있는 불투수면, 토지이용, 유역관리의 문제도 이러한 경관생태학적 관점에서 고찰해볼 수 있다. 유역관리 측면에서 보면 불투수면과 투수면의 증감, 불투수면과 투수면의 크기와 배치 등의 경관구조에 따라 그 경관 안에서 일어나는 물을 포함한 물질 및 에너지의 흐

름을 변화시킨다(이도원, 2001).

1) 경관의 구성요소

경관요소의 공간적 크기, 형상, 수, 종류, 방향, 대비, 구성요소들의 짜임과 관련된 에너지와 물질, 생물, 유형의 정보 분포 상태를 말한다. 경관구조는 이질적인 공간 요소들이 이루는 유형을 말한다. 경관을 이루는 기본적인 단위는 경관요소이다. 경관을 이루는 요소는 크게 바탕(Matrix), 조각(Patch), 통로(Corridor)로 나눈다.

2) 경관의 기능

경관의 기능은 경관요소 사이의 상호작용을 포함하는 의미로 경관 요소 사이에서 일어나는 에너지, 물질, 생물종 등의 흐름을 말한다. 서로 다른 경관요소와 요소의 경계를 가로질러 일어나는 에너지, 물질, 생물의 흐름 및 이동 원리와 함께, 이러한 이동과 지역을 이루는 각기 다른 특징의 토지크기, 모양, 배열, 구성요소들 사이의 관계에 관심을 가진다.

2. FRAGSTATS 프로그램 매트릭스

McGarigal과 Barbara(1994)는 'Fragstats'라는 경관구조와 관련된 각종 공간 통계 수치를 계산하는 프로그램을 개발하였다. 이 프로그램에 투입되는 매트릭의 값들은 한 지역의 경관의 특성을 나타내는 특징적 요소이다. 하나의 매트릭 값이 그 지역을 대표하는 특성이 될 수 없지만, 수십개의 매트릭스(metrics)가 함께 경관의 특징을 나타내므로 경관생태지표를 도출하는데 도움이 된다. 다양한 경관지수들은 크게 Area/density/edge metrics, Shape metrics, Core area metrics, Isolation/proximity metrics, Contrast metrics, Contagion/interspersion metrics, Connectivity metrics, Diversity metrics 값들로 구분할 수 있으며 각 값들은 분석할 경관 규모와 유형에 따라 patch, class, landscape 수준에서 산출할 수 있다. patch 수준은 단일의 조각(patch)에서의 값들이고, class 수준은 동일유형의 조각(patch)들에 대한 값이고, landscape 수준은 모든 유형을 patch를 다 포함한

수준에서 경관지수의 값을 도출하는 것을 의미한다. 이 지수들은 공간 범위에 따라 사용가능한 경관패턴 지수들이 달라지며, Fragstats 에서 산출되는 경관 지수값들은 상대적인 값이 대부분을 차지한다. 본 연구에서는 Fragstats 프로그램을 이용하여 유역내 토지피복의 구성, 면적, 형태, 연결성 등에 관한 경관지수를 도출하였다. 경관지수 분석결과는 분석자료의 형태와 자료의 해상도에 따라 달라질 수 있다. 자료의 형태가 vector 인가 raster 인가에 따라 결과가 달라지며, raster 자료의 경우 grain size에 따라 달라진다. 예로 vector 형태의 자료와 raster 형태의 자료의 둘레의 길이는 달라질 수 밖에 없다. grain 크기의 차이에 따른 영향도 크며, grain 크기가 작을 수록 둘레의 길이도 길어진다(이상범, 2007).

3. 물이동 관련 경관지수의 도출

본 연구에서는 기존의 경관지수에서 물흐름과 관련된 경관지수를 선정하고자 하였다. 경관의 기능은 생물종의 이동과 확산뿐만 아니라 물과 물질의 이동을 포함하고 있으며 경관의 구성은 이러한 기능이 일어나는 환경이다(Johnson and Patil, 2006). 이 환경에 대한 분석을 공간적인 수치로 파악한 것이 경관지수이다. Fragstats에서 구해질 수 있는 경관지수 중에 물의 이동과 관련된 지수를 class 수준에서 도출해 보고자 한다. Patch와 landscape 수준에서의 경관지수의 도출은 전자는 개별적 조각(patch)에 대해 지수를 산출하고 후자는 토지유형에 상관없이 유역내 모든 토지피복에 대한 경관지수를 산출하기 때문에 본 연구에서 목적으로 하고 있는 투수면/불투수면에 대한 경관지수 도출과 대분류에 의한 토지피복의 경관지수 도출에는 필요하지 않다. 물과 관련된 지수의 도출은 Johnson and Patil(2006)의 경관지수에 의한 수질영향 연구와 과학기술부(2003)의 경관 생태학적 원리를 이용한 소수계물관리 진단시스템 개발 연구를 토대로 연구자의 판단에 의해 도출하였다(표 1 참조).

Fragstats가 개발된 후 경관지수 부분에서 많이 이용되고 있는 프로그램임에도 불구하고 이 프로그

램에서 산출가능한 지수들의 의미에 대해 설명이 충분하지 않고 더욱이 물과 물질의 이동에 중점을 두고 접근한 경관지수에 대한 연구는 미진한 편이다. Johnson and Patil(2006)이 유역분석에 이용했던 지수는 해당유형의 면적과 밀도, 형태, 가장자리길이, 근접성에 대한 지수였다. 본 연구는 이러한 지수들에 근거하여 물이동 관련 경관지수를 도출하였다. 투수면과 불투수면에 대한 기본적인 정보인 면적, 각각의 조각의 수, 경관에서의 배치 형태, 밀도, 연결성이 물의 이동과 관련이 있을 것으로 보고 이들과 관련된 지수에 대한 중점적으로 검토하였다.

III. 오산천 유역 경관지수의 도출

1. 오산천 개요

오산천은 경기도 남부지역에 위치하는 대표적인 도시 하천이다. 경기도 수원시를 비롯하여 화성군, 오산시 등의 도시 및 농촌, 공단이 인접하고 있어 하천에 대한 인위적, 자연적인 교란이 매우 빈번하게 나타나는 하천이다. 본 연구에서는 오산천을 환경부 표준유역구분에 근거하여 두개의 유역, 즉 기흥댐 소유역과 오산천 소유역으로 구분하여 2002년과 2007년의 두 지역의 토지피복변화에 대해 경관지수를 도출하였다.

기흥댐 소유역은 오산천의 상류유역으로 소유역 내에 기흥댐이 위치하고 있다. 이 지역의 토지이용 변화는 그림 1에서 볼 수 있다. 토지이용의 변화는 기흥댐 상류부에서 시가지역 확장이 증가되어 왔음을 볼 수 있다. 오산천 소유역의 경우 기존 개발지를 중심으로 시가지역이 확장되어 왔음을 알 수 있다.

2. 경관지수 도출결과

1) 토지피복분류에 근거한 경관지수 도출

환경부 표준유역 구분에 근거하여 오산천 유역을 기흥댐 소유역과 오산천 소유역으로 구분하여 도출한 6개의 토지피복에 대한 경관지수는 각각 표 2, 표 3과 같다. 기흥댐 소유역의 경우 2002년에서

표 1. 물이동관련 경관지수

경 관 지 수	물이동과의 관련성	단위
경관유형의 면적(CA) = $\sum_{j=1}^n a_{ij} \left[\frac{1}{10,000} \right]$ a_{ij} = 조각 ij의 면적(m ²)	본 연구에서 관심가지고 있는 토지피복의 변화와 투수면에서의 불투수면으로의 변화는 경관유형의 면적(CA) 산출을 통해 관심토지유형, 예를 들면 투수면인 산림지가 경관에서 차지하는 면적은 기본적인 정보이다.	ha
경관구성의 비율(PLAND) = $P_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$ P _i = 경관에서 조각 유형 I 점유비율 a_{ij} = 조각 ij의 면적(m ²), A = 총 경관면적(m ²)	경관구성의 비율(PLAND)은 경관내에서 각각의 조각 유형의 비율적인 점유도를 양적으로 나타낸 것이다. 경관유형의 면적(CA)와 같이 이는 경관의 구성을 나타내는데 이 구성이 달라짐에 따라 그 안에서 일어나는 물과 물질 순환은 변화하게 될 것으로 예상할 수 있다. 경관구성의 비율(PLAND)은 상대적인 값으로 다양한 경관 크기들에서는 경관의 구성을 평가하는데 면적(CA)보다 유용한 방법이다.	%
조각의 수(NP) = n _j (조각의 면적, 분포, 도에 대한 정보)	투수면과 불투수면의 파편화 정도를 알 수 있는 정보이다. 동일면적의 투수면 또는 불투수면이라면 조각이 많이 난 투수면 또는 불투수면이 유역관리에 바람직한지 아니면 그 반대의 경우가 유역관리에 나을지는 앞으로 더 검토해볼 문제이다.	개
총 가장자리길이(TE) = $\sum_{k=1}^m e_{ik}$ e_{ik} 는 I유형조각관련 가장자리 총 길이(m)	Class 수준에서 총 가장자리길이(TE)는 해당유형 조각의 총 길이이다. 동일 유역에서 연도변화에 따라 조각 유형에 따른 총 가장자리의 길이(TE)변화는 조각의 수(NP)와 밀도(PD) 변화와 관련이 있다. 조각의 수와 밀도가 높아짐에 따라 총 가장자리의 길이는 증가하게 된다.	m
가장자리밀도 ED = $\frac{\sum_{k=1}^m e_{ik}}{A} (10,000)$ e_{ik} = 가장자리의 총 길이. A = 전체 경관면적(m ²)	가장자리 밀도(ED)는 해당 조각 유형의 모든 가장자리 길이 합을 총 경관 면적(m ²)으로 나눈 것이다. 이 값이 0인 경우는 경관에서 class 가장자리가 없는 것으로 이는 전체경관과 경관경계가 해당 조각 유형으로 이루어진 경우를 의미한다.	m/ha
형태지수 (Shape Index) = $\frac{P_{ij}}{\min p_{ij}}$ P_{ij} = 셀에 들어가는 조각 ij의 둘레길이, $\min P_{ij}$ = 셀에 들어가는 조각 ij의 최소한의 둘레길이	형태지수는 해당되는 셀 안에서의 조각의 둘레를 해당 조각을 최대한 압밀한 조각에서 구할 수 있는 최소의 둘레로 나눈 것이다. 이 값의 범위는 1보다 같거나 크다. 1인 경우는 패치가 최대한 압밀되어 있다는 것이고 값이 1보다 점점 커진다는 것은 조각의 모양이 점점 비 규칙적으로 되어간다는 것을 의미한다.	-
근접성지수 CONFIG = $\frac{\left(\sum_{ijr} c_{ijr} \right) - 1}{v - 1}$ c_{ijr} = 조각 ij안에 있는 pixel r에 근접성 수치 v = 3×3 template에서의 값의 합계 a_{ij} = 포함되는 셀 안에서 조각 ij의 면적	근접성지수(CONFIG: Contiguity Index) : 이 값은 공간적 연결성 또는 근접성을 평가하는 것이다. 범위는 0≤CONFIG≤1으로 하나의 픽셀(pixel) 조각의 경우 0이고 조각의 근접성, 연결성이 증가하면서 1에 가까워진다.	-
형태복잡지수 Fractal Dimension Index FRAC = $\frac{2 \ln(p_{ij})}{\ln a_{ij}}$ p_{ij} = 조각 ij의 둘레(m) a_{ij} = 조각 ij의 면적(m ²)	이 값은 조각의 둘레(m)의 로그값의 2배수를 조각 면적(m ²)의 로그값으로 나눈 것으로 형태의 복잡성을 나타내는 지수이다. 값의 범위는 1≤FRAC≤2이다. 이 값은 형태의 복잡성을 의미하기 때문에 형태지수(SHAPE)와 마찬가지로 형태의 복잡성을 측정하는 방법으로 둘레길이-면적의 비율의 한계를 극복할 수 있다.	-
최소근접지수 ENN = h _{ij} h_{ij} = 조각 ij에서 가장 가까운 동일 유형의 조각까지의 거리	ENN(Euclidean Nearest-Neighbor Distance): 이 값은 조각의 고립도를 측정하기 위해 광범위하게 이용되어 왔으며 조각의 context에 대한 가장 간편한 방법일 것이다. 여기서 가장 인접한 이웃간의 거리(nearest neighbor distance)는 초점의조각과 그 조각의 가장 인접한 동일 유형의 조각 사이의 가장 짧은 직선이다. ENN>0으로 한계는 없다. ENN이 0에 근접한 가는 것은 가장 인접한 조각과의 거리가 적어진다는 것을 의미한다.	-

표 1. 계속

경 관 지 수	물이동과의 관련성	단위
연결성 지수(CON) = $\left[\frac{\sum_{j=k}^n c_{ijk}}{n_i(n_i - 1)} \right] (100),$ $c_{ijk} = \text{해당 조각유형(i) 조각 j와 k 사이 연결}$ $n_i = \text{경관에서 해당조각유형의 조각 수}$	이 지수는 해당조각 유형의 모든 조각 사이의 기능적 연결을 나타낸 값으로 여기서 조각의 각각의 짝은 연결되어 있거나 연구자가 정의한 거리 내에 있지 않을 수도 있다. 연결성 지수는 조각의 수가 주어진 경우 가능한 최대의 연결성의 백분율로 나타낸다. 연결성지수는 Euclidean거리와 관련이 있다.	-
조각 결합지수(PCI) $= \left[1 - \frac{\sum_{j=1}^n p_{ij}}{\sum_{j=1}^n p_{ij} \sqrt{a_{ij}}} \right] \left[1 - \frac{1}{\sqrt{A}} \right]^{-1} (100)$ $P_{ij} = \text{셀 표면의 수로 본 조각 ij의 둘레,}$ $a_{ij} = \text{셀의 수로 본 조각 ij의 면적,}$ $A = \text{모든 셀의 수}$	이 값은 해당 조각 유형의 물리적 연결성을 측정한다. 이 값은 해당 유형 조각의 군집(aggregation)에 민감하다. 이 값은 조각이 군집되어 있을 때 증가하는 것으로 물리적으로 연결성이 좋아짐을 의미한다. 이 값이 0에 근접한다는 것은 초점의 유형을 이루고 있는 경관의 비율이 줄어들고 점점 분절되고 물리적으로 덜 연결됨을 의미한다.	-

주 : Johnson and Patil(2006)과 과학기술부(2003)의 물관련 경관지수를 참고로 하여 선정함.

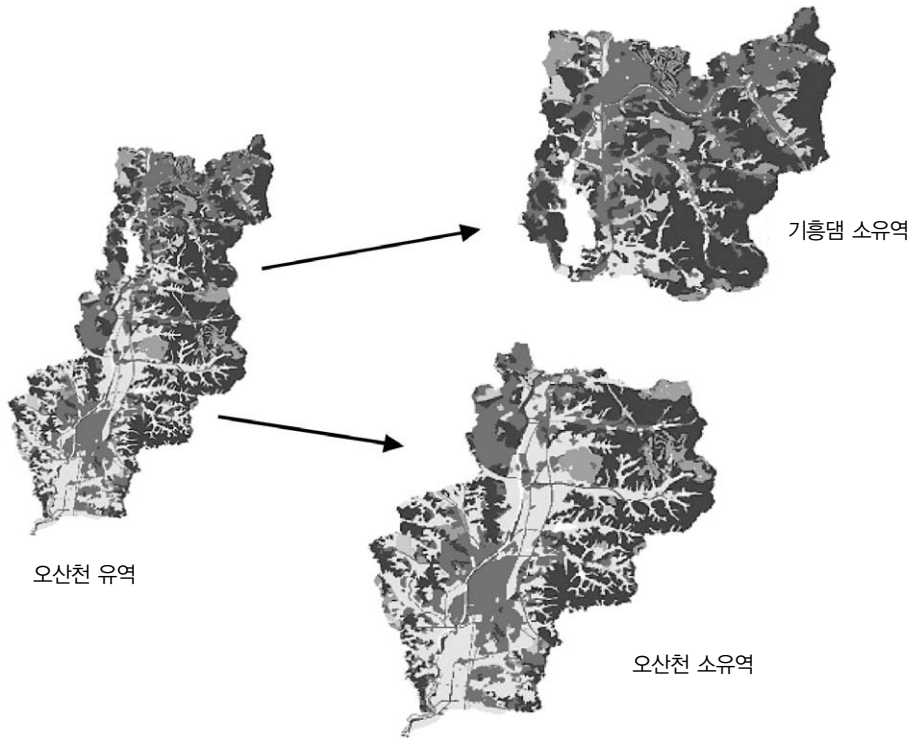


그림 1. 환경부 표준유역구분에 의한 오산천 유역 구분

주: 2007년 토지피복현황임.

2007년 사이 토지피복 변화를 보면 시가화 지역의 경우 491ha 가 증가하였으며 농업지역과 산림지역은 각각 397ha, 228ha 감소하였다. 습지는 절반가

까이 감소한 반면 초지는 배로 증가였다.

오산천 소유역은 같은 기간 동안 시가화지역, 초지, 습지, 나지가 증가한 반면, 농업지역과 산림지

표 2. 기흥댐 소유역의 경관지수 도출결과

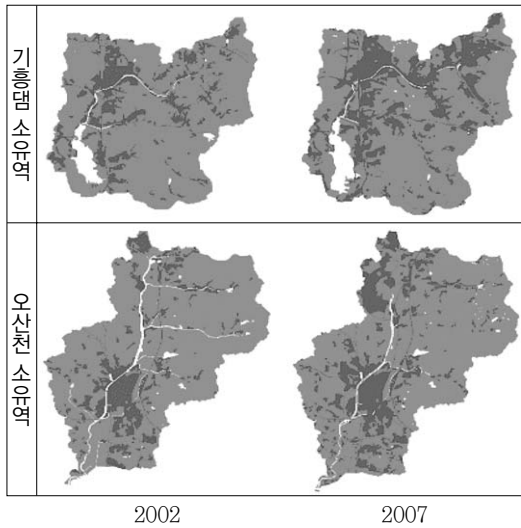
	기흥댐 소유역																	
	시가화지역			농업지역			산림지역			초 지			습 지			나 지		
	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002
CA	1018.6	1510.3	491.7	867.2	470.1	-397.2	2581.7	2353.1	-228.6	214.5	407.8	193.3	57.4	29.1	-28.4	315.2	29.1	-286.1
PLAND	20.2	30.1	9.9	17.2	9.4	-7.8	51.1	46.8	-4.3	4.2	8.1	3.9	1.1	0.6	-0.6	6.2	0.6	-5.7
NP	102	127	25	66.0	96.0	30.0	86.0	85.0	-1.0	42.0	88.0	46.0	3.0	15.0	12.0	100.0	15.0	-85.0
PD	2.0	2.5	0.5	1.3	1.9	0.6	1.7	1.7	0.0	0.8	1.8	0.9	0.1	0.3	0.2	2.0	0.3	-1.7
TE	227730	262860	35130	184110	133950	-50160	362430	314460	-47970	93660	116760	23100	4380	10800	6420	102570	10800	-91770
ED	45,0542	52,3089	7.3	36.4	26.7	-9.8	71.7	62.6	-9.1	18.5	23.2	4.7	0.9	2.1	1.3	20.3	2.1	-18.1
SHAPE_MN*	1.8	1.5	-0.3	2.0	1.6	-0.3	1.9	1.9	0.0	2.1	1.7	-0.5	1.4	1.8	0.4	1.6	1.8	0.2
SHAPE_RA**	7.6	11.1	3.5	4.6	4.6	0.0	8.9	9.3	0.3	5.7	8.3	2.6	0.6	4.7	4.1	3.2	4.7	1.5
FRAC_MN*	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0
FRAC_RA**	0.28	0.30	0.02	0.2	0.2	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.1	0.3	0.2	0.2	0.3	0.1
CONTIG_MN*	0.5093	0.3922	-0.1	0.6	0.6	-0.1	0.5	0.6	0.1	0.4	0.5	0.0	0.6	0.2	-0.4	0.5	0.2	-0.3
CONTIG_RA**	0.9	0.9	0.0	0.9	0.9	0.0	0.9	0.9	0.0	0.9	0.9	0.1	0.8	0.7	0.0	0.9	0.7	-0.2
ENN_MN*	110.4	100.9	-9.5	160.4	191.3	30.9	91.2	94.9	3.6	236.4	193.7	-42.7	226.3	136	-90.3	165.7	136	-29.7
ENN_RA**	602.7	300	-302.7	756.1	788.5	32.4	241.5	391.0	149.5	1040.6	882.0	-158.6	424.3	832.0	407.7	840.5	832.0	-8.5
CON	3.1	3.2	0.1	3.3	1.6	-1.7	5.0	4.0	-1.0	4.4	2.3	-2.1	33.3	11.4	-21.9	2.2	11.4	9.2
PCI	97.1	98.9	1.8	96.2	93.0	-3.2	98.3	98.0	-0.3	92.9	92.6	-0.3	95.2	88.8	-6.4	87.8	88.8	1.1

주 : 1. CA(면적), PLAND(비율), NP(동일유형 조각의 수), PD(동일유형 조각의 밀도), TE(가장자리 총길이), ED(가장자리밀도), SHAPE(형태지수), FRAC(형태복잡지수), CONTIG(근접성지수), ENN(최소근접지수), CON(연결성지수), PCI(조각 결합지수) MN* 값은 평균값, RA**값은 범위를 나타냄
 2. 각 단위는 표 1의 각 단위정보와 같음

표 3. 오산천 소유역의 경관지수 도출결과

	오산천 소유역																	
	시가화지역			농업지역			산림지역			초 지			습 지			나 지		
	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002
CA	1732.8	2354.4	621.6	3618.0	3221.3	-396.7	3648.6	3163.0	-485.6	346.1	549.2	203.1	29.5	164.4	134.9	167.2	234.4	67.1
PLAND	18.2	24.4	6.2	37.9	33.4	-4.5	38.2	32.8	-5.5	3.6	5.7	2.1	0.3	1.7	1.4	1.8	2.4	0.7
NP	144	205	61	75.0	133.0	58.0	137.0	139.0	2.0	56.0	70.0	14.0	12.0	76.0	64.0	49.0	81.0	32.0
PD	1.5	2.1	0.6	0.8	1.4	0.6	1.4	1.4	0.0	0.6	0.7	0.1	0.1	0.8	0.7	0.5	0.8	0.3
TE	285960	390630	104670	504900	529860	24960	517200	441630	-75570	104430	98400	-6030	7020	72600	65580	49050	65640	16590
ED	29.9	40.4	10.5	52.9	54.9	2.0	54.2	45.8	-8.4	10.9	10.2	-0.7	0.7	7.5	6.8	5.1	6.8	1.7
SHAPE_MN	1.5853	1.5113	-0.074	2.5	2.0	-0.5	1.8	1.7	-0.1	1.9	1.6	-0.3	1.8	1.8	0.0	1.5	1.4	0.0
SHAPE_RA	10.1	12.0	1.9581	7.0	7.5	0.5	12.3	9.7	-2.6	6.5	3.5	-3.0	3.4	5.8	2.4	3.8	3.3	-0.5
FRAC_MN	1.0803	1.0756	-0.0047	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0	1.1	1.1	0.0
FRAC_RA	0.3018	0.3152	0.0134	0.3	0.3	0.0	0.3	0.3	0.0	0.3	0.2	-0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	0.2	0.0
CONTIG_MN	0.5269	0.496	-0.0309	0.6	0.6	0.0	0.6	0.6	0.0	0.5	0.5	0.1	0.3	0.3	-0.1	0.5	0.5	0.0
CONTIG_RA	0.9274	0.9385	0.0111	0.9	0.9	0.0	0.9	0.9	0.0	0.9	1.0	0.0	0.7	0.7	0.1	0.8	0.9	0.1
ENN_MN	145.2	115.0	-30.2	101.8	102.3	0.5	107.3	109.7	2.4	344.2	366.4	22.2	230.3	73.5	-156.8	427.3	295.3	-132.0
ENN_RA	852.4	900.4	48.0	784.8	386.0	-398.8	480.8	576.4	95.6	2218.6	1280.6	-938.0	1810.9	122.5	-1688.4	1621.1	1322.9	-298.1
CON	1.9	1.8	-0.1	4.4	2.3	-2.1	2.4	2.0	-0.3	4.0	1.5	-2.5	13.6	4.5	-9.1	2.0	1.5	-0.6
PCI	98.2	98.6	0.4	98.1	97.9	-0.2	99.0	98.6	-0.3	93.2	94.5	1.3	89.1	89.3	0.2	90.6	88.1	-2.6

주 : 1. CA(면적), PLAND(비율), NP(동일유형 조각의 수), PD(동일유형 조각의 밀도), TE(가장자리 총길이), ED(가장자리밀도), SHAPE(형태지수), FRAC(형태복잡지수), CONTIG(근접성지수), ENN(최소근접지수), CON(연결성지수), PCI(조각 결합지수) MN* 값은 평균값, RA**값은 범위를 나타냄
 2. 각 단위는 표 1의 각 단위정보와 같음



2002 2007
그림 2. 유역의 투수면/불투수면 변화

역이 감소하였다. 시가화 지역의 면적은 621.6ha 증가하였으며 이러한 시가화지역의 면적 확대는 면적뿐만 아니라 시가화지역의 조각의 개수 및 밀도가 증가하였고, 총 가장자리의 길이도 104,670m

증가하였다. 연결성과 결합성을 보면 시가화 지역이 기능적 연결성은 약간 감소하였으나 군집을 나타내는 결합성지수는 증가한 반면, 농업지역과 산림지역의 연결성과 결합성지수 모두 감소하였다.

2) 투수면/불투수면에 근거한 경관지수 도출

기흥댐 소유역의 투수면/불투수면 분석을 보면 투수면은 2002년 4035ha에서 2007년 3514ha로 521ha 줄어든 반면 투수면의 조각지수(NP)는 18에서 61로 증가하였다(표 4 참조). 같은 기간 불투수면은 1018ha에서 1510ha로 약492ha 증가하였고 조각지수도 102에서 127로 증가하였다(표 2 시가화지역 참조). 투수면의 경우와 같이 면적이 줄어들면서 조각의 수가 현저히 늘어난 것은 투수면이 파편화되어 갔다는 것을 의미한다. 연결성과 결합성을 나타내는 지수 값은 투수면의 경우 작아진 반면, 불투수면의 경우는 증가하였다. 이는 불투수면이 더욱 연결성이 좋아지고 군집되어 나타나는 특성을 보임을 의미한다.

표 4에서 보면 오산천 소유역의 투수면은 2002

표 4. 오산천 유역의 투수면 경관지수 도출결과

	기흥댐 소유역			오산천 소유역		
	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002
	투수면	투수면	차이	투수면	투수면	차이
CA	4035.96	3514.86	-521.1	7809.39	7294.41	-514.98
PLAND	79.8476	69.9454	-9.9022	81.8401	75.5984	-6.2417
NP	18	61	43	32	58	26
PD	0.3561	1.2139	0.8578	0.3354	0.6011	0.2657
TE	227730	262860	35130	75,0229	66,2681	-8,7548
ED	45,0542	52,3089	7,2547	285960	390630	104670
SHAPE_MN	2,1777	1,637	-0,5407	29,9678	40,4844	10,5166
SHAPE_RA	8,1925	8,1873	-0,0052	1,7849	1,7972	0,0123
FRAC_MN	1,089	1,0749	-0,0141	9,6159	10,6442	1,0283
FRAC_RA	0,257	0,2609	0,0039	1,0774	1,0892	0,0118
CONTIG_MN	0,587	0,5312	-0,0558	0,2614	0,2733	0,0119
CONTIG_RA	0,9447	0,9469	0,0022	0,5984	0,5401	-0,0583
ENN_MN	73,1476	90,9313	17,7837	0,9574	0,9504	-0,007
ENN_RA	74,1641	424,6648	350,5007	78,7627	78,3045	-0,4582
CONNECT	20,915	7,2131	-13,7019	168,4732	181,8677	13,3945
COHESION	99,7473	99,4956	-0,2517	10,8871	6,8361	-4,051

주 : 1. CA(면적), PLAND(비율), NP(동일유형 조각의 수), PD(동일유형 조각의 밀도), TE(가장자리 총길이), ED(가장자리밀도), SHAPE(형태지수), FRAC(형태복잡지수), CONTIG(군집성지수), ENN(최소군집지수), CON(연결성지수), PCI(조각 결합지수) MN* 값은 평균값, RA**값은 범위를 나타냄
2. 각 단위는 표 1의 각 단위정보와 같음

년 7809ha에서 2007년 7294ha로 514ha 줄어든 반면 투수면의 조각지수(NP)는 32에서 58로 증가하였다. 투수면의 경우와 같이 면적이 줄어들면서 조각 지수가 현저히 늘어난 것은 산림이 파편화되어 갔다는 것을 의미한다. 연결성과 결합성을 나타내는 지수값은 투수면의 경우 작아진 반면, 아래에서 볼 불투수면의 경우는 기능적 연결성은 낮아지고 결합지수는 증가하였다. 결합지수의 증가는 같은 유형의 조각 군집정도를 나타낸 것이다.

3. 불투수비율에 따른 경관지수비교

불투수면은 유역의 건전성을 가늠할 수 있는 중요한 인자이다. Schueler(1994)는 유역의 불투수면 점유비율이 10%넘어가게 되면 유역이 자연적인 하천을 유지하기 힘들다고 보았으며 25%가 넘어가며 심각한 하천 질의 변화를 초래하여 유출량, 수질, 수온, 생태계에 변화를 가져온다 하였다. 본 연구에서는 유역에서의 불투수면 비율뿐만 아니라 불투수면의 조각 형태, 개수, 밀도, 가장자리 길이, 동일 유형

표 5. 오산천 유역의 투수/불투수 점유 비율 변화

기흥댐 소유역		오산천 소유역	
2002년 유역 면적	2007년 유역 면적	2002년 유역 면적	2007년 유역 면적
5054.58 ha	5025.15 ha	9542.25 ha	9648.9 ha
2002년 투수면 비율	2007년 투수면 비율	2002년 투수면 비율	2007년 투수면 비율
80%	70%	82%	76%
2002년 불투수면 비율	2007년 불투수면 비율	2002년 불투수면 비율	2007년 불투수면 비율
20%	30%	18%	24%

* 유역면적의 변화는 분류에서 제외한 수역의 면적 변화로 생긴 것으로 판단됨

표 6. 오산천 유역의 불투수면 경관지수 도출 결과

	기흥댐 소유역			오산천 소유역		
	2002	2007	2007-2002	2002	2007	2007-2002
	불투수면	불투수면	차이	불투수면	불투수면	차이
CA	1018.62	1510.29	491.67	1732.86	2354.49	621.63
PLAND	20.1524	30.0546	9.9022	18.1599	24.4016	6.2417
NP	102	127	25	144	205	61
PD	2.018	2.5273	0.5093	1.5091	2.1246	0.6155
LPI	8.4523	20.8024	12.3501	9.0894	12.538	3.4486
TE	227730	262860	35130	285960	390630	104670
ED	45.0542	52.3089	7.2547	29.9678	40.4844	10.5166
SHAPE_MN	1.7699	1.5026	-0.2673	1.5853	1.5113	-0.074
SHAPE_RA	7.5725	11.1204	3.5479	10.1066	12.0647	1.9581
FRAC_MN	1.0931	1.0664	-0.0267	1.0803	1.0756	-0.0047
FRAC_RA	0.2816	0.309	0.0274	0.3018	0.3152	0.0134
CONTIG_MN	0.5093	0.3922	-0.1171	0.5269	0.496	-0.0309
CONTIG_RA	0.8622	0.881	0.0188	0.9274	0.9385	0.0111
ENN_MN	110.4423	100.9363	-9.506	145.2573	115.0152	-30.2421
ENN_RA	602.7217	300	-302.722	852.4144	900.4686	48.0542
CONNECT	3.0674	3.1871	0.1197	1.9134	1.7838	-0.1296
COHESION	97.0768	98.8622	1.7854	98.181	98.6154	0.4344

주 : 1. CA(면적), PLAND(비율), NP(동일유형 조각의 수), PD(동일유형 조각의 밀도), TE(가장자리 총길이), ED(가장자리밀도), SHAPE(형태지수), FRAC(형태복잡지수), CONTIG(군집성지수), ENN(최소군집지수), CON(연결성지수), PCI(조각 결합지수) MN* 값은 평균값, RA**값은 범위를 나타냄
 2. 각 단위는 표 1의 각 단위정보와 같음

끼리의 연결성 및 결합성 정보를 가진 경관지수를 산출하여 유역의 토지피복 변화를 살펴보고자 하였다. 유역에서 차지하는 불투수면의 면적이나 비율이 비슷하다 할지라도 불투수면의 경관지수적 특징에 따라 수계에 미치는 영향은 달라질 것으로 보인다.

오산천 유역의 2002년에서 2007년의 불투수 면적의 비율증가분 6.2%에 비해 기흥댐 소유역의 같은 기간 불투수면적의 비율증가분은 9.9%로 기흥댐 소유역의 불투수면 증가 폭이 컸다(표 6 참조). 불투수면의 조각의 개수(NP)의 변화를 보면 기흥댐 소유역이 같은 기간동안 102-127개(25개 증가)로 분절된 데 비하여 오산천 유역은 144개에서 205(61개)로 분절된 것을 볼 수 있다(표 6 참조). 면적의 크기를 감안한다면 기흥댐 유역이 상대적으로 불투수면이 많이 증가했음에도 불구하고 불투수면 조각의 파편화는 오산천 유역에서 더 많이 일어났다고 볼 수 있으며 불투수면의 가장자리에 관한 지수인 총길이(TE)와 밀도 역시 오산천 유역에서의 증가가 현저히 크다. SHAPE 지수를 보면 기흥댐유역의 지수가 오산천 유역의 지수보다 상대적으로 낮아 오산천 유역의 불투수면 조각의 모양이 상대적으로 비 규칙적이라는 것을 알 수 있다. 군집과 연결성의 추세는 관련 지수의 변화를 보면 파편화가 되어가면서 연결성이 증가하고 군집정도가 증가하는 것으로 나타났다.

IV. 결론

유역관리에서 투수면/불투수면의 배치, 형태, 연결성 등은 토지이용을 통한 물관리 측면에서 중요한 인자임에도 불구하고 구체적으로 어떠한 투수면/불투수면의 형태, 배치, 연결성이 수질 및 수량에 영향을 주는가에 대한 연구는 아직 미흡한 편이다. 이 분야에 대한 연구가 앞으로 축적된다면 물순환과 기타 생태기능보존을 위한 토지이용계획 및 경관계획의 방향을 제시하는데 유용할 것이다. 본 연구가 가지는

한계는 유역의 환경을 변화시키는데 결정적인 역할을 하는 경관특징을 명시하기에는 사례가 부족하고 연구방법도 단편적이다. 다만 이 연구가 가지는 의의는 기존의 유역관리에서 중요시해오던 불투수면에 대한 연구에서 면적, 비율을 넘어서 불투수면의 형태, 파편정도, 결합성, 연결성 등 경관지수에 초점을 두으로써 유역의 토지이용계획에 경관생태학적 개념을 도입할 필요성을 제기한 데에 있다고 할 수 있다.

참고문헌

- 과학기술부, 2003, 경관 생태학적 원리를 이용한 소수계물관리 진단시스템 개발.
- 이도원, 2001, 경관생태학, 서울대학교출판부, 15-24.
- 이상범, 2007, 생태축 분석을 위한 경관생태학적 방법론 연구, 한국환경정책평가연구원, 39-40.
- Galli, J., 1991, Thermal Impacts Associated With Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices. Metropolitan Washington Council of Governments. Maryland Department of Environment. Washington, D.C. 188.
- Johnson and Patil, 2006, Landscape pattern analysis for assessing ecosystem condition, Springer Science and Business Media, 57-66.
- McGarigal, Kevin and Barbara Marks, 1994, Fragstats Ver. 2.0 Spatial Pattern Analysis Program for Quantifying landscape Structure. Oregon State University(www.umass.edu/landeco/pubs/Fragstats.pdf)
- Schueler, T., 1994, The Importance of Imperviousness, *Watershed Protection Techniques*, 1(3), 100-111. Center for Watershed Protection.