

경상북도 4개 도시의 녹지파편화 현상 비교

장갑수 · 박인환*

경북대학교 농과대학 조경학과

Comparison of urban forest fragmentation between four cities in Kyungpook, Korea

Jang, Gab Sue · Park, In Hwan*

Dept. of Landscape Architecture, Coll. of Agr., Kyungpook National University

Abstract

This study was carried out to investigate the degree of impact from road construction and forest fragmentation after urbanization. And this study was also conducted to compare the urban forest fragmentations of four cities, Taegu, Pohang, Kyungju, and Kumi, in Kyungpook, Korea, with referring the Landsat TM remotely sensed data.

Taegu metropolitan city has the largest forest volume of our surveying sites, comparing with three other cities-Kyungju · Pohang · Kumi city in kyungpook, Korea. The forest has been fragmented during urbanization, the number of forest patch has been increased, therefore, the patch size has been smaller.

The forest in Pohang and Kyungju city represented the intermediate aspect between Taegu Metropolitan city and Kumi city, it means forest of the region has been stable condition. Road construction brings to increasing edge habitat area. However, as the core area was decreased, the habitats have been unstable. This result can be a basis on the management of the forest which is the origin of biodiversity. Hereafter, if the research, based on the multi-temporal remote sensing data, is proceeded continuously, the forest fragmentation will be able to be reduced. We will be able to settle urban forest management more practically.

Keyword : Urban forest fragmentation, Remote sensing, FRAGSTATS, Landscape indices

* Corresponding author

I. 서론

인간의 활동과 녹지의 기능적인 면을 비교해 보면, 녹지는 인간의 주거지임과 동시에 생활터전이었으며 식량자원의 역할과 보호기능까지도 제공해 준다는 점에서¹⁶⁾ 인간은 끊임없이 녹지에 의존하고 있음을 알 수 있다. 그러나 산업의 발달과 도시의 팽창으로 말미암아 녹지의 이러한 공익기능은 점차 축소되어 가는데, 최근의 경제위기 속에서 환경에 대한 인식 및 대책마련은 다소 등한시될 것으로 사료되어 녹지의 지속적인 관리 대책의 수립이 어느 때보다도 절실하다.

녹지는 다른 자연요소와는 달리 영속적인 특성을 가지면서 인간 정주공간 주변에서 다양한 역기능을 제거하는 필요불가결한 요소임에도 불구하고 녹지의 기능들은 논과 밭의 식량자원처럼 정량적으로 드러나는 것이 아니기 때문에, 비(非)시장적인 기능만을 가진 녹지자원의 손실에 대한 위험성을 제대로 인식하지 못한 채 개발이라는 미명하의 녹지파괴는 계속되고 있다.

녹지의 순기능을 우리의 의지와 무관하게 보전한다는 것은 세대 내(Interpersonal)의 형평과 세대 간(Between people in the present and those of the future)의 형평을 맞춘다는 의미에서도 상당한 의의를 가지는데, 적어도 선조에게서 물려받은 것들에 대해 후손들의 선택권을 제한한다면 후손들의 형평성을 침해한다고 할 수 있으며, 녹지 또한 그 군집단위로 보존함으로써 제 기능이 유지되도록 노력해야 하겠다^{11, 21)}.

녹지평가에 관한 기존의 연구로는 식생변화에 대한 모니터링^{12, 17)}, 식생활력도의 분석을 통한 지역평가⁶⁾, 그리고 녹지활력도 평가⁸⁾등을 들 수 있다. 이들 연구는 도시발달과정에서의 녹지의 변화를 감지하는 수단으로써 위성영상을 활용한 연구 사례로, 식생의 공익적인 면이 잘 설명되어 있고, 식생의 질적인 면을 분석, 평가하기 위한 위성영상의 활용방안에 관하여 명확히 서술하고 있다.

반면, 식생단위의 물리적 특성의 변화인 식생군락의 단절성을 설명하기 위한 자료제시는 미비한 실정이다. 또 고강석 등¹⁾, 박경훈⁴⁾, 이우균 등⁹⁾의 녹지환경개선기능평가, 녹지보전등급 설정, 그리고 도시립 관리체계에 대한 연구에서는 녹지보전을 위하여 종합적인 인자들을 고려하고 있어 녹지환경의 종합적 관리면에서 그 효용이 높지만, 녹지의 제반 기능과 그 원형을 보호하기 위한 녹지만의 기본특성 및 녹지간의 유기적 관계를 연구할 필요성은 여전히 남아있다고 할 수 있다.

삼림지역 자르기, 길 만들기과 같은 인간활동은 지형적 이질성(異質性)과 자연적인 방해, 그리고 패치(patch), 통로(corridors), 가장자리(boundaries), mosaics 등 다양한 생물적 이질성을 만들어 낸다¹⁹⁾. 특히 자연 및 인공적인 간섭에 의해 발생하는 파편화 현상에 대하여 생태적인 의미를 되새겨 볼 필요성이 있다. 대부분의 경관에서의 환경적인 이질성이 그러하듯이 작은 패치는 대체로 하나의 거주지 유형 안에 있는 경향이 있는 반면, 몇몇의 큰 패치 거주지도 포함하는 경우도 있으며, 생물서식공간의 개념으로 볼 때¹⁹⁾, 산림지 내부가 주변의 숲조각들보다 더욱 광범한 생물종다양성을 나타낸다.

파편화와 종의 존속에 관련된 연구를 보면 Granjon *et al.*(1997)은 홍수에 의한 파편화와 단절이 종의 다양성을 크게 감소시킨다고 하였고¹⁴⁾, Schmiegelow *et al.*(1997)은 고립된 파편화로 인해 서식종들이 감소한다고 하였다²⁰⁾. 이처럼 도시발달과정에서 파생되는 녹지파편화는 상기한 바와 같이 종의 존립에 상당한 영향을 미치고있기 때문에, 특정종의 보존을 위해서 서식환경에 대한 충분한 자료축적과 더불어 녹지의 규모, 건전성, 교란정도, 그리고 교란의 원인 등을 면밀히 검토할 필요가 있다. 녹지 파편화의 결과만 가지고 전체 녹지의 건전성을 설명할 수는 없지만, 이는 종의 유지와 녹지관리에 있어 그 관계를 규명해 줄뿐만 아니라, 차후 인간의 간섭으로 인한 녹지의 손실

을 미연에 방지할 수 있는 기반을 조성한다는 점에서 의의가 크다.

이에 본 연구는 도시화로 인한 도시녹지의 파괴 정도와 생태계의 단절을 초래하는 도로개설과 같은 인간위주의 녹지관리가 녹지파편화에 미치는 영향을 검토하고자, 도시발달과정의 녹지관리에서 차이를 보이고 있는 경상북도 4개 도시지역에 대하여, 생태계 교란을 야기하는 녹지파편화 정도를 파악하고, 인위적인 녹지파편화 현상을 평가하여 각 도시별 녹지의 건전성을 비교하였다.

II. 연구내용 및 방법

1. 대상지 및 분석방법

대부분의 경상북도 지역의 산업이 농업중심으로 발달한데 비하여 대상지인 대구광역시, 구미시, 포항시는 일찍부터 공업지향적으로 발달해온 도시들인데⁵⁾, 공업화 초기부터 실시된 개발과 도로개설로 인하여 녹지파편화 정도는 매우 심각한 수준이다. 한편 전통적으로 역사·문화 중심도시로서의 기능이 유지되어 왔고³⁾, 대부분의 지역이 국립공원으로 지정되어 관광도로를 제외한 개발이 둔감하여 안정된 녹지의 유지 및 관리가 행해졌다고 생각되는 경주시를 포함한 상기 4개 도시를 연구대상으로 하였다.

경관평가는 녹지의 파편화(forest fragmentation)를 대상으로 수행하였는데, 이는 1997년 5월 17일자 Landsat TM¹⁾(path 114-row 35)영상을 기본으로 하였고, 본 영상에서 제외된 구미시는 1995년 5월 3일자 Landsat TM²⁾(path 115-row 35)영상을 참조하였다. 영상등록은, 1997년 영상의 경우, 1:25,000 지형도를 기준으로 TM 좌표에 등록시켰고, 각각 15개의 지상 통제점(Ground Control Point)을 정하였으며, 등록오차(RMS error)는 0.537이었는데, 등록오차를 최소화하기 위하여 지

형도 상의 지상통제점 좌표를 Summer Graphics 디지털타이저를 통하여 소수점 둘째자리까지 확인하였다. 1995년 영상은 등록된 1997년 영상과 Map to map의 방법으로 영상등록을 하였으며 등록오차는 0.372였다.

가. 토지피복분류를 통한 녹지지역 추출

본 연구의 분석대상인 녹지부분만을 구분하기 위하여 토지피복분류를 선행하였다. 전체 영상에서 연구 대상지에 해당하는 범위만큼을 잘라낸 후, ER Mapper 5.5의 ISOCCLASS모듈을 이용하여 무감독분류를 시행하였다. 무감독분류는 7개 밴드를 모두 사용하였으며, 분광특성이 다른 255가지 그룹으로 분류하고, 이들 영상들은 1:25,000지형도와 영상의 True color image를 참조하여 표 1과 같이 6개의 피복군으로 분류하였다.

영상분류의 정확도를 제고하기 위하여 지형도와 RGB영상을 토대로 두 번의 검증과정을 거쳤고, 본 과정에서 발견된 에러는 참조자료와 비교하면서 수정작업을 반복하였다. 두 차례의 수정작업을 거친 뒤 분류의 신뢰도검증을 수행하였다. 영상분류의 신뢰도 검증을 위하여, 모집단인 1997년 TM 영상의 토지피복분류자료로부터 난수표를 발행하여 1,973개의 표본에 해당하는 cell을 임의 추출하였고, 추출된 값들은 1996년 6월에 촬영된 축척 1:20,000 128매의 항공사진³⁾과 비교검

Table 1. Items for the land-cover classification.

Item	Land cover type
Water	River, Pond, Lake
Paddy area	Paddy area
Forest	Forest, Orchard
Urban area	Urban area, Built-up area, Hard pavement
Grass land	Grass land, Graveyard
Bare soil	Bare soil, sand, construction site

주1) 한국 환경정책·평가연구원(KEI) 제공.

주2) 농업과학기술연구원 제공.

주3) 국립지리원 제공

Table 2. Accuracy table of the image classification of Landsat TM in May 17, 1997.

Division	Urban area	Bare soil	Grass land	Paddy area	Forest	Water	Commission error
Urban area	198	1	1	0	7	0	9/ 207(0.043)
Bare soil	5	18	1	1	3	0	10/ 28(0.357)
Grass land	2	2	135	11	15	0	30/ 165(0.182)
Paddy area	2	0	7	218	13	0	22/ 240(0.092)
Forest	1	0	4	4	1276	1	10/1286(0.008)
Water	1	0	0	0	1	45	2/ 47(0.043)
Omission error	11/209(0.052)	3/21(0.142)	13/148(0.088)	16/234(0.068)	39/1315(0.030)	1/46(0.022)	83/1973(0.042)

증을 통하였다. 항공사진을 통한 신뢰도 검증의 결과값은 표 2와 같다. 도출된 결과 중에서 녹지 부분만을 비교해 본다면, 통계연보에서 파악된 임야면적 488,728,682㎡와 조경지 면적 9,493,459㎡를 녹지공간으로 가정할 때²⁾, 통계연보에서 확인된 녹지의 면적과 위성영상을 통하여 획득한 피복분류결과인 504,745,200㎡와 거의 일치하여, 전체지역의 피복분류 결과가 상당히 정확함을 알 수 있었고, 녹지에 대한 신뢰성도 97.0%로 상당히 높았다. 한편, 나지에 대한 신뢰도가 낮지만, 전반적으로 90%를 상회하는 신뢰도를 획득하였다.

나머지 1995년 영상은 무감독 분류 후, 동년의

RGB합성영상과 신뢰도검증과정을 거친 1997년 토지피복분류자료를 참조하여 정확성을 검토하였다.

나. 도로자료구축

거친해상도(coarse resolution)의 영상에서 도로는 판별이 불분명하지만, 도로개설로 인한 주변 녹지에 미치는 영향은 매우 크다. 도로는 이전에 존재했던 커다란 패치(patch)를 더 작은 것으로 절개함으로써 파편화를 유도하고, 파편화된 도로 양면을 따라 가장자리서식지(edge habitat)를 형성하게 되는데, 잠재적으로는 내부서식지(interior

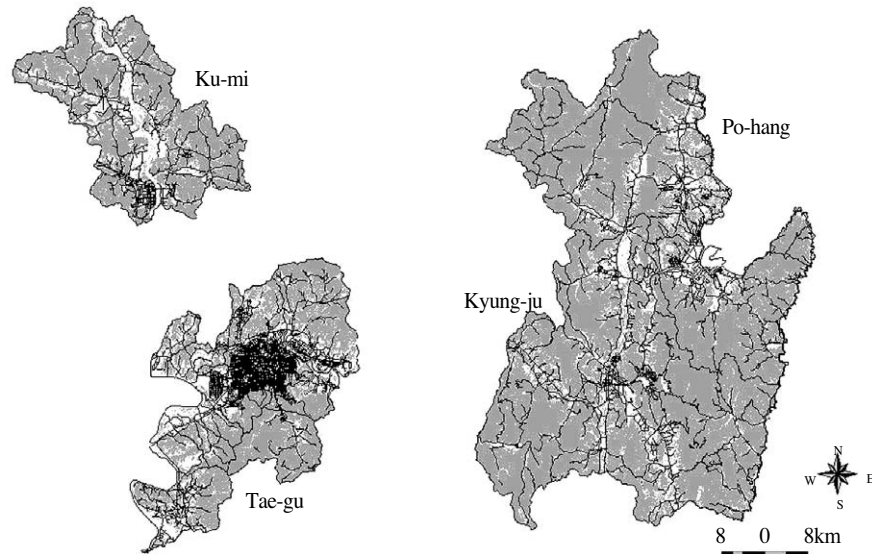


Fig. 1. The forest map of the four cities. The grey colored region is forest.

Table 3. The present condition of road construction in four cities.

Cities	Total(km)	Length of paved road(km)	Percentage of paved road(%)	Unpaved road(km)	Unopened road(km)
Taegu	1,985.0	1,947.8	98.1	37.2	-
Kyungju	752.0	464.0	61.6	185	103.0
Pohang	173.0	144.0	83.2	20.2	9.0
Kumi	93.6	74.5	79.6	19.1	-

Taegu statistical yearbook(1998)

habitat)에 피해를 주게 된다²¹⁾. 서⁶⁾는 녹지의 파편화를 초래하는데 도로개설이 매우크게 영향을 미치며 생물종 다양성의 관점에서 삼림에 미치는 거리는 도로 양쪽에서 각각 112m라고 주장하였다. 본 연구에서는 위성영상을 활용하여 녹지의 파편화를 분석하였으며, Landsat TM 영상의 해상도로 보아 전체 도로망의 인식에는 여러 가지 문제점이 있기 때문에, 이를 해결하기 위하여 각 도시별로 1:50,000지도상에 나타난 '비포장1차선'보다 하위도로인 '가로(街路)'까지 벡터화(Vectorizing)하였고, 벡터화한 자료를 다시 영상으로부터 추출된 녹지지역과 중첩시켜 제거함으로써 순수 녹지공간만을 분리하였다.

다. 녹지의 파편화분석

1) 분석방법

경상북도 4개 도시의 경관평가를 위하여 그림 1과 같이 크게 두 과정의 작업을 거쳤다. 즉, 이미지 처리과정을 통하여 추출된 녹지의 파편화 현상을 분석하고, 추출된 녹지에 도로중첩작업을 실시한 후 녹지파편화를 분석하여 이들을 상호 비교하였다. 녹지파편화 분석은 경관지수로서 녹지파편화를 평가하고 있는 지리통계적 프로그램인 FRAGSTATS 2.0을 활용하였다. 기본자료로 활용되었던 녹지부분은 '1'의 값을 갖고 나머지는 '0'의 값을 갖는 bit map으로 전환하여 이를 지리통계 software인 FRAGSTATS 2.0^{주4)}에서 활용할 수 있도록 ERDAS format으로 변환하였다. 변환된 자료는 FRAGSTATS의 기본 모듈을 따라 실행

하였는데, cell size는 30m×30m를 기준으로 하였고, 가장자리 거리(Edge distance)는 100m, background는 '0' 값을 주었으며, 최종 2개의 class로 구분하여 시행하였다.

도로자료를 중첩하는 과정은, 이미 추출한 '0' 값과 '1' 값으로 구분된 녹지자료와 추가된 도로자료를 Arcview GIS의 grid상에서 산술연산을 통하여 조합하였는데, 녹지 파편화 분석에 있어 정확성을 기하기 위해 Setnull 모듈을 활용하여 도로지역을 제한 순수 녹지지역만을 획득하였다.

FRAGSTATS 2.0은 이미지 자료를 계급(Class)에 따라 분석하고, 계급간의 거리와 면적, 가장자리 규모 등에 따라 파편화정도를 파악하고 있다. 수행된 자료는 이미지 자료(Raster data)이기 때문에 기본단위인 30m×30m내의 값들은 동일하게 표현되었고, 수치로만 정량화가 가능하며 시각적으로 변화여부의 판단이 불가능하다는 한계가 있지만, 경관의 정량적 평가에 있어 그 활용도가 매우 높다고 사료되며, 이의 보완을 위해 추후 지속적인 프로그램의 보완이 요구된다.

FRAGSTATS 2.0을 수행하여 얻은 Metrics는 Class area를 비롯한 총 28개 지수(Index)들로서, 표 4에 자세히 기술하였다.

주4) Oregon state university, Forest science department에서 경관구조의 정량화를 목적으로 고안한 software.

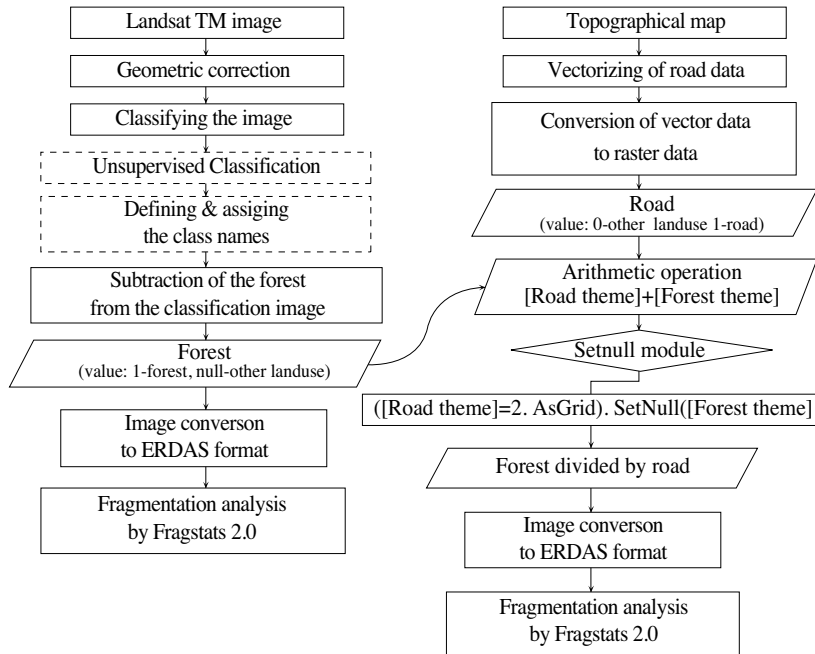


Fig. 2. Flowchart for the evaluation of forest fragmentation in the four cities, Taegu, Kumi, Kyungju, Pohang. All of the spatial calibrations are due to ArcView 3.1

III. 결과 및 고찰

1. Metrics에 따른 도시녹지 파편화 분석

FRAGSTATS를 통하여 구한 Metrics들은 Area metrics, Patch density · Patch size · Variability metrics, Edge metrics, Shape metrics 그리고 Core area metrics로서 각 조사지역에서 얻은 결과들은 다음과 같다(표 5).

Area metrics는 일반적인 기술통계치이며 경관의 구성(Landscape composition)을 반영하는 값들로서 CA(Class Area), TA(Total Area), LPI(Large Patch Index)등이 있다¹⁵⁾. 물리적 면적을 나타내는 값들인 CA와 TA의 경우, 지역의 면적이 가장 넓었던 대구광역시에 가장 높았고, 상대적으로 좁은 구미시는 그 값이 낮게 나타났다. LPI는 이와 달리, 개발의 여지가 많고 다른 도시보다 녹지의 파편화가 활발히 진행된 대구광역시

에서 그 값이 24.17로 낮게 나타났다. 양적인 면에서 대구광역시의 녹지는 나머지 도시들보다 많은 면적을 차지하고 있지만, 도시의 개발과 도시화의 진행으로 인해 상당부분이 단절되었고, 당연히 녹지내의 서식환경들도 이에 영향을 받았음을 예측할 수 있었다.

Patch density · Patch size · Variability metrics는 Area metrics와는 달리 경관의 형태(Landscape configuration)를 대표하는 값들로서¹⁵⁾, NP(Number of Patch), PD(Patch Density), MPS(Mean Patch Size), PSSD(Patch Size Standard Dev), PSCV(Patch Size Coeff. of Variation)등이 있다. 이 중 NP · PSSD · PSCV는 패치의 수와 규모별 분산 그리고 변이율 등을 대변하는 값들인데, 대구광역시의 녹지는 패치의 수가 많고 분산과 변이율이 높은 것으로 파악되었다. 구미시의 경우는 대구광역시의 현상과는 반대로 전반적으로 낮은 수치로 나타났으나, 구미시 녹지에서

Table 4. Metrics computed in FRAGSTATS, grouped by subject area.

Description	Metrics	Acronym	Units
Area metrics	Class Area	CA	ha
	Total Area	TA	ha
	Largest Patch Index	LPI	%
Patch density, patch size and variability metrics	Number of patches	NP	#/100ha
	Patch Density	PD	
	Mean Patch Size	MPS	ha
	Patch Size Standard Deviation	PSSD	ha
	Patch Size Coefficient of Variation	PSCV	%
Edge metrics	Total Edge	TE	m
	Edge Density	ED	m/ha
Shape metrics	Landscape Shape Index	LSI	
	Mean Shape Index	MSI	
	Area-Weighted Mean Shape Index	AWMSI	
	Double Log Fractal Dimension	DLFD	
	Mean Patch Fractal Dimension	MPFD	
	Area-Weighted Mean Fractal Dimension	AWMPFD	
Core area metrics	Core area percent of Landscape	C%LAND	%
	Total Core Area	TCA	ha
	Number of Core Areas	NCA	
	Core Area Density	CAD	#/100ha
	Mean Core Area 1	MCA1	ha
	Core Area Standard Deviation 1	CASD1	ha
	Core Area Coefficient of Variation 1	CACV1	%
	Mean Core Area 2	MCA2	ha
	Core Area Standard Deviation 2	CASD2	ha
	Core Area Coefficient of Variation 2	CACV2	%
	Total Core Area Index	TCAI	%
Mean Core Area Index	MCAI	%	

PD값은 상당히 높게 나타났는데, 녹지의 패치 크기가 작으면서 빈도가 높음을 의미하였다. MPS는 포항시에서 가장 높게 나타난 값으로, 포항지역의 패치가 평균적으로 크게 남아 있으며 녹지의 절단 및 파괴정도가 타 도시에 비하여 그다지 심하지 않음을 알 수 있었다. 경주시도 녹지의 면적에 비하여 패치의 수(NP)가 상당히 적은 반면 평균 패치크기(MPS)는 큰 것으로 미루어, 패치의 규모가 적절하게 보존되었고 개발로 인한 녹지의 파손이 적어 패치의 건전성이 높게 유지되고 있음을 알 수 있었다. 구미시와 대구광역시 경우에는 상대적인 패치의 크기는 작았다.

Edge metrics는 공간적으로 명확하지는 않지만, 이 또한 경관의 형태를 설명하고 있는 metrics이다¹⁵⁾. 경관에 있어 가장자리 서식지는 많은 생태적 현상에 중요하게 작용하는데, 특별히 야생동물과의 관계규명과 '가장자리효과(Edge effect)'에 있어 그 중요성이 인정되고 있다¹⁵⁾. Edge metrics에서 구해진 TE(Total Edge)와 ED(Edge Density)는 가장자리의 거리값들이고, 가장자리 서식지의 구성과 형태에 대하여 설명하고 있는데, 본 연구에서는 녹지에서의 가장자리를 전술한 바와 같이 100m까지로 간주하였다. 가장자리의 전체연장길이를 의미하는 TE는 녹지면적이 넓은 대구광역시

Table 5. The result of forest fragmentation analysis of four cities in Kyungpook, Korea.

Metrics	Area metrics			Patch density · Patch size · Variability metrics(PPVm)			
Landscape ID	CA	TA	LPI	NP	PD	MPS	PSSD
Kyungju	8962.11	8962.11	47.68	729	8.13	12.29	203.97
Kyungju(r)	8831.16	8831.16	45.36	758	8.58	11.65	191.17
Kumi	3532.5	3532.5	49.94	528	14.95	6.69	90.13
Kumi(r)	3480.84	3480.84	49.51	530	15.23	6.57	87.95
Pohang	7495.47	7495.47	66.33	547	7.3	13.7	234.47
Pohang(r)	7396.83	7396.83	66.16	559	7.56	13.23	228.35
Taegu	46005.75	46005.75	45.05	3772	8.2	12.2	398.97
Taegu(r)	45507.87	45507.87	24.17	3988	8.76	11.41	225.31
Metrics	PPVm	Edge metrics		Shape metrics			
Landscape ID	PSCV	TE	ED	LSI	MSI	AWMSI	DLFD
Kyungju	1659.12	1151640	128.5	30.41	1.23	15.13	1.53
Kyungju(r)	1640.82	1199520	135.83	31.91	1.24	14.96	1.54
Kumi	1347.17	635160	179.8	26.72	1.24	12.32	1.51
Kumi(r)	1339.22	634920	182.4	26.9	1.24	12.25	1.5
Pohang	1711.13	946320	126.25	27.33	1.25	16.96	1.53
Pohang(r)	1725.74	975360	131.86	28.35	1.26	17.45	1.54
Taegu	3271.11	5187300	112.75	60.46	1.3	19.04	1.46
Taegu(r)	1974.47	5237160	115.08	61.38	1.32	10.4	1.45
Metrics	Shape metrics		Core area metrics				
Landscape ID	MPFD	AWMPFD	C%LAND	TCA	NCA	CAD	MCA1
Kyungju	1.03	1.31	46.13	4133.97	165	1.84	5.67
Kyungju(r)	1.03	1.31	43.85	3872.07	216	2.45	5.11
Kumi	1.03	1.3	32.12	1134.54	129	3.65	2.15
Kumi(r)	1.03	1.3	31.5	1096.47	127	3.65	2.07
Pohang	1.03	1.32	49.31	3695.85	117	1.56	6.76
Pohang(r)	1.03	1.32	47.44	3509.37	137	1.85	6.28
Taegu	1.04	1.31	52.34	24077.7	844	1.83	6.38
Taegu(r)	1.04	1.26	51.83	23586.93	847	1.86	5.91
Metrics	Core area metrics						
Landscape ID	CASD1	CACV1	MCA2	CASD2	CACV2	TCAI	MCAI
Kyungju	99.61	1756.49	25.05	208.2	831.01	46.13	0.25
Kyungju(r)	90.39	1769.47	17.93	168.65	940.78	43.85	0.26
Kumi	30.57	1422.71	8.79	61.37	697.83	32.12	0.26
Kumi(r)	29.34	1418.16	8.63	59.46	688.71	31.5	0.32
Pohang	120.4	1781.91	31.59	258.81	819.33	49.31	0.18
Pohang(r)	113.21	1803.3	25.62	227.6	888.5	47.44	0.17
Taegu	248.49	3892.76	28.53	524.71	1839.27	52.34	0.27
Taegu(r)	149.04	2519.91	27.85	322.45	1157.92	51.83	0.44

(r) indicates that the road data of each city were stacked in the forest data.

가 가장 높았고, 상대적으로 적은 면적의 구미시는 그 값이 낮았다. 반대로 ED의 경우, 구미시가 가장 높았고, 대구광역시가 가장 낮았는데, 구미시는 녹지 경계면의 굴곡이 심하여 경계선의 연장이 길게 나타난 것이고, 대구광역시의 경우는 녹지의 면적이 넓지만 경계가 완만하여 상대적으로 연장길이가 짧은 것에서 기인한 것으로 파악되었다. 여기에서, 구미시 녹지 중 가장자리의 형태는 다양하고 단위면적당 패치의 분포가 밀집되어 있어 그 서식환경도 다양하게 유지되고 있는 반면, 대구광역시의 경우는 가장자리가 침식되어 완만한 형상을 취하고 있어 서식환경 또한 단순하다는 것을 알 수 있었다. 경주시의 경우는 전체 가장자리의 면적에 비하여 가장자리 밀도가 낮게 나타났는데, 이를 난개발(亂開發)로 인한 녹지지역의 손실이라고 규정하기보다는 보존으로 인해 녹지의 원형이 비교적 잘 유지됨으로써 가장자리 녹지의 파편화가 일어나지 않은데서 나타난 결과라고 사료된다. 또 녹지의 총면적(TA)은 구미시의 두 배 정도이지만, 패치의 수는 758개로 구미시 530개의 1.5배정도에 거쳤다는 것은 그만큼 녹지의 파편화가 미약하였음을 알 수 있었다.

Shape metrics는 패치모양의 복잡성을 기준으로, 경관의 형상을 정량화 한 통계치이다¹⁵⁾. Shape는 metrics로 정량화하기에 어려운 변수로서, 소동물의 이동, 식물의 우점 등과 같은 패치 상호간의 과정에 영향을 준다¹⁵⁾. Shape Index는 표준 shape와 비교한 patch shape의 혼잡성을 설명하는 지수로서, 대구광역시의 녹지가 가장 복잡하고 불규칙하였고, 경주시-포항시-구미시로 갈수록 그 형태가 단순하였다. 면적에 가중치가 적용된 AWMSI의 경우는 포항시의 녹지가 가장 복잡한 구도를 가지고 있고, 경주시-구미시-대구광역시로 갈수록 단순해짐을 알 수 있었다. 이상에서, 대구광역시 녹지패치는 전체적으로 그 형태가 복잡하지만 대규모 녹지는 단순하였고 가장자리 또한 완만하였다. 포항시는 녹지의 형태가

대규모이면서 다양하게 나타났으나, 전체적 형상은 단조롭다는 것을 알 수 있었다. 경주시의 경우는 대규모의 녹지 및 전체형태가 다양하였는데, 대부분의 지역이 국립공원으로 지정되어 자연자원의 건전성이 나머지 도시보다 높은 것에서 기인한 결과라고 사료된다. Fractal dimension의 경우는 4개 도시 모두 유사한 값을 가지고 있으며, 특히, DLFD(Double Log Fractal Dimension) · AWMPFD(Area-Weighted Mean Fractal Dimension)의 값들은 1.5에 접근하고 있어 두드러진 특징을 찾기가 힘들었다.

Core area metrics는 가장자리와 완충지역을 제외한 내부지역을 지칭하고, 경관의 구성과 경관의 형상을 동시에 반영하고 있다. 중심지 면적(Core area: CA)은 경관 내 패치의 자연성을 결정하는 것으로서, '가장자리 효과'와 밀접한 관계를 갖는다¹⁵⁾. 중심부의 총 면적에서는 23586.93ha인 대구광역시가 가장 높게 나타났고, 1096.47ha인 구미시가 가장 낮게 나타났으며, MCAI를 제외하고는 모두 대구광역시-경주시·포항시-구미시의 순으로 형성되었다. 이는 상대적으로 녹지패치의 규모가 큰 대구광역시·경주시·포항시에서는 내부서식지인 중심부의 면적이 크기 때문에, 서식지의 질(Habitat quality)에 있어 민감성을 보이는 CA의 값을 근거로 종풍부도 및 다양도가 양호하다는 것을 의미한다¹⁵⁾. 반면, 구미시는 녹지패치의 규모가 작아서 그만큼 중심부가 작게 형성되어 있기 때문에 상대적으로 내부종에 대한 서식환경의 질이 떨어진다고 사료된다.

나. 도로적용 유무에 따른 도시녹지 파편화 해석

도로개설에 따른 녹지의 영향은 앞서 언급한 바와 같이 동식물의 서식환경 형성에 상당히 영향을 미치는 인자이다. 분석자료를 토대로 살펴보면 표 6과 같은데, 형태와 구성에 해당하는 지수들은 대부분 감소하였다(CA, TA, TCA, MCA1, MCA2, TCAI, MACI, MPS). 반면, 도로

Table 6. The Indices affected by Road data

Description	Metrics
Decreased Indices	CA, TA, TCA, MCA1, MCA2, TCAI MACI, MPS AWMSI
Increased Indices	NP, PD, NCA, CAD, ED LSI, MSI
Unchanged Indices	DLFD, MPFD, AWMPFD
Peculiar Indices	LPI, PSSD, PSCV, CACV1, CACV2, AWMSI

개설로 인해 파편화된 패치의 수적 증가로 인하여 NP, PD, NCA, CAD, ED 등은 그 값이 상대적으로 높아진 경향이었다.

도로개설로 인해 패치의 형상은 다소 불규칙적이거나 거칠게 변한 것으로 판명되었다. LSI, MSI의 값이 도로개설 후 조금씩 상승한 것에서 추정할 수 있었는데, 반면, 면적에 가중치를 적용한 AWMSI 값이 도로개설 후 급격히 줄어든 것은 대면적패치의 거칠기가 완만해 졌기 때문이라고 생각된다. 패치경계의 형태를 설명하고 있는 지수들에서는 모두 정체되게 나타났는데, 이는 도로의 개설이 경계의 형태를 급격하게 변화시키지는 못했기 때문이라 사료되었다(DLFD, MPFD, AWMPFD).

이상(異常)현상을 보이는 지수들로는 LPI, PSSD, PSCV, CACV1, CACV2, AWMSI 등이 있는데, 도로개설 전후로 그 값이 크게 차이가 있음을 보여주었고, 특히 대구지역에서 그 차이가 제일 심하였다.

IV. 결론

도시의 발달로 인한 녹지의 훼손과 파편화 정도, 그리고 도로개설로 인한 상호영향에 대하여 검토하고자, Landsat TM 영상자료를 바탕으로 경상북도 4개 도시들의 녹지지역을 추출하고 도로자료를 구축한 후 녹지 파편화 현상을 비교하여 얻은 결과는 다음과 같다.

도시화로 인한 녹지의 훼손은 도시화가 진행된 도시일수록 더욱 심하게 나타났는데, 대구광역시의 경우 녹지는 본 연구 대상지인 경상북도 4개 도시 중 가장 넓은 면적으로 광범위하게 분포하고 있었지만, 도시화 진행 과정 동안에 상당부분이 단절되어, 녹지의 패치수가 많아진 반면, 크기가 작아 졌음을 알 수 있었다. 대구광역시의 녹지에 비하여 구미시의 녹지는 가장자리 서식지의 형태는 매우 다양하게 나타났으나, 패치 자체의 크기는 매우 작았다. 포항시와 경주시의 녹지는 대구광역시와 구미시의 중간적인 경향을 나타내었으나, 양적인 측면에서 대구광역시 다음으로 패치 규모가 대규모이면서 수가 많아 생태적 안정도가 높음을 추측할 수 있었다.

도로의 개설로 인하여 가장자리 서식지는 증가하였지만, 중심지가 좁아지면서 소규모화되어 생물 서식 공간의 안정도는 하락하였다.

이상의 연구 결과는 생물종 다양성의 근원이 되는 녹지 관리에 기초 자료로서 활용할 수 있고, 특히 녹지의 훼손을 다양한 시각에서 볼 수 있으며, 결국 여러 가지 경관지수를 통하여 대상지의 다각적인 녹지건전성을 파악할 수 있다는 점에서 그 의미가 크다. 또한 향후 다중시기 영상을 토대로 하여 지속적인 연구가 이루어진다면 도시화 과정에 필연적으로 따르는 녹지파괴 현상을 어느 정도는 방지하여 보다 합리적인 도시 녹지관리 방안을 수립 할 수 있을 것이라 사료된다.

인용문헌

- 1) 고강석 · 서민환 · 김정현 · 김기대 · 길지현 · 김정수 · 이명우, 1999, 지리정보체계를 이용한 청주시 녹지의 환경개선 기능 평가, 환경영향평가학회, 8(1): 51-60.
- 2) 대구광역시, 1996, 대구통계연보.
- 3) 대구광역시, 1997, 2016년 대구도시기본계획, p. 59.

- 4) 박경훈, 1999, 환경보전을 위한 종합적 녹지평가 방법론, 경북대학교 조경학과 석사논문.
- 5) 박인환, 장갑수, 김종용, 1999, 推移帶를 중심으로 한 경상북도 3개 도시의 열섬평가, 환경영향평가학회, 8(2): 73-82.
- 6) 박종화, 서동조, 서창완, 1996, TM영상추출 NDVI를 이용한 수도권 그린벨트의 평가, 대한 원격탐사학회지, 12(3): 245-256.
- 7) 서경주, 1996, 식생지수를 이용한 설악산 국립공원 내 인간활동이 식생에 미치는 영향 분석, 서울대 환경대학원 석사학위 논문, pp 11-29.
- 8) 이규성 외, 1998, 인공위성 영상자료와 GIS를 이용한 녹지자연도 등급판정기법 개발 연구 보고서.
- 9) 이우균 · 손요환 · 송철철 · 정기현 · 김윤경 · 류성렬 · 김현섭, 1999, 지형, 토양 및 임상정보에 기초한 도시립 관리시스템 개발, 환경영향평가학회, 8(3): 61-76.
- 10) 이응경, 1998, *Trend of forest fragmentation in the lower region of the Han river basin*, 서울대학교 환경대학원 석사논문, pp. 14-17.
- 11) 장갑수, 1999, '지속가능한 개발' 개념을 도입한 대구시 개발제한구역의 조정, 서울대학교 환경대학원 석사논문, pp. 25-30.
- 12) Alwashe, M. A. and Bokhari, A. Y., 1993, *Monitoring vegetation changes in Al Madinah, Saudi Arabia, using Thematic Mapper data*, Int. J. Remote sensing, 14(2): 191-197.
- 13) Claire C. Vos, 1993, *Landscape ecology of a stressed environment*, Chapman & Hill.
- 14) Granjon, L., J. F. Cosson, J. Judas, and S. Rinquet, 1996, *Influence of tropical rain-forest fragmentation on mammal communities in French-Guiana-Short-term effects*, Acta Oecologica-International Journal of Ecology, 17(6): 673-684.
- 15) Kevin Mcgarigal and Barbara J. Marks, 1994, *Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*, Oregon State University, p.33-43(unpublished).
- 16) Kimmins, J.P., 1987, *Forest Ecology*, The university of British Columbia, pp. 339-383.
- 17) Lee, N. J. and Nakane, K., 1996, *Forest vegetation classification and biomass estimation based on Landsat TM data in a mountainous region of west Japan*, Kluwer Acad. Publ., Dordrecht, The Netherlands, pp. 159-171.
- 18) Reed, R. A., J. Johnson-Barnard and W. L. Baker, 1996, *Contribution of roads to forest fragmentation in the Rocky mountains*, Conservation Biology, 10(4): 1098-1106.
- 19) Richard T.T. Forman, 1995, *Land Mosaics*, Cambridge University press, pp. 15-21.
- 20) Schmiegelow, F. K. A., C. S. Machtans, and S. J. Hannon, 1997, *Are boreal birds resilient to forest fragmentation-An experimental study of short term community responses*, Ecology, 78(6): 1914-1932.
- 21) Stedman, B. J. and Hill, Teresa, 1992, *Introduction to the spacial issue: Perspectives on sustainable development*, Environmental impact assessment review, 12: 13-28.