

생태계 보전 계획을 위한 경관파편화 분석: 수도권을 사례로*

권혁수** · 김장수***

Fragmentation Analysis for Conservation Planning: The Case of Seoul Metropolitan Area*

Hyuksoo Kwon** · Jangsoo Kim***

요약 : 본 연구는 개발 압력이 높은 수도권의 경관파편화 정도를 측정하여 환경계획 및 교통계획 수립에 활용하고자 하였다. 이를 위하여 서식지 간 만날 수 있는 확률을 평가하는 유효 연결망 크기(Effective Mesh Size, EMS)를 적용하였다. 평가 결과, 수도권 북동부 지역의 경관파편화 정도가 낮으며, 서울을 비롯한 인천 지역이 상대적으로 경관파편화가 높게 평가되었다. 서울의 경우, 북부와 남부지역은 북한산과 관악산, 우면산 등의 영향으로 인해 경관파편화가 낮은 지역으로 평가된 반면, 중심부는 오랫동안 도시화가 진행되면서 대규모 녹지들이 분포하지 않기 때문에 경관파편화가 높았다. 서초구는 경관파편화와 도시생태현황도 간 차이가 나타났으나, 이는 식생중심 보전등급과 동식물 이동성 평가 차이에 기인한다. 도시화 지역은 큰 면적의 녹지를 확보하는 것이 어렵기 때문에 기존 녹지를 연결하고, 교통계획 수립 시 최적으로 통과하는 방법을 선택하여 넓은 서식지를 확보하는 노력이 필요하다. 전국토로 분석을 확장한다면 광역이나 전국단위의 보호지역이나 환경 계획수립에 효과적으로 활용할 수 있을 것이다.

주요어 : 효율적 그물망 크기, 서식지 파편화, 메타개체군, 서식지 연결성, 교통계획

Abstract : The purpose of this study was to measure the degree of landscape fragmentation in the metropolitan area with high development pressure and to utilize it in environmental planning and traffic planning. The Effective Mesh Size (EMS) was applied to evaluate the probability that two randomly chosen points in a region are located in the same non-fragmented patch. In the northeastern region of the metropolitan area, the degree of landscape fragmentation was low and the landscape fragmentation was relatively high in Seoul and Incheon. In the case of Seoul, the northern and southern regions were evaluated to have low landscape fragmentation due to the influences of Mt. Bukhan, Mt. Gwanak and Mt. Umyeon. While the center of Seoul had a high degree of landscape fragmentation due to the lack of large green spaces during urbanization. In Seocho-gu, there was a difference between landscape fragmentation and biotop map of Seoul. This is attributable to the differences between vegetation-based evaluations and assuming animal mobility. Since it is difficult to secure large green areas in an urbanized area, it is necessary to connect existing green areas and to preserve a wide habitat by selecting the optimal way to pass when establishing a transportation plan. If you expand the analysis to the national scale, it can be effectively used for planning a protected area or environment at the national level.

Key Words : Effectiveness Mesh Size (EMS), Habitat fragmentation, Meta population, Habitat connectivity, Traffic plan

*본 연구는 국립생태원의 전략과제로 수행된 지역의 생태가치 평가 및 인식증진방안 연구사업(NIE-전략연구-2020-07)의 지원을 받아 수행되었음.

**국립생태원 생태연구본부 선임연구원(Senior Researcher, Bureau of Ecological Research, National Institute of Ecology, ulmus@nie.re.kr)

***공주대학교 지역개발연구소 박사후연구원(Postdoctoral Researcher, Institute of Regional Development Research, Kongju National University, matra99@kongju.ac.kr)

I. 서론

도로 건설이나 택지 개발과 같은 인위적인 개발에 의한 경관파편화는 야생동물의 서식지 및 이동에 많은 영향을 준다. 또한, 경관파편화는 종의 다양성 감소 및 멸종을 가속화시키거나 종의 행동변화를 일으키며 활동영역을 축소시키고 유전적 흐름을 막아 종내 번식(inbreeding)으로 인한 기형 및 멸종을 유도하기도 한다. 특히, 소음이나 인간간섭 등의 교란 요인들은 조류와 같은 종의 산란 및 번식에 영향을 준다(Jaeger, 2000; Forman *et al.*, 2003; Blandón *et al.*, 2016; De Camargo *et al.*, 2018; Valente *et al.*, 2019). 이러한 생태계 변화는 도시 생태계 건강성 평가를 위한 경관파편화 연구의 필요성을 제기하였다(Girvetz *et al.*, 2008; Valente *et al.*, 2019). 특히 인구의 절반 이상이 모여 사는 우리나라 수도권의 경우, 도시의 외연적 확장으로 인해 경관파편화가 매우 높고 빠르게 진행되었으며, 더욱 가속화 될 것으로 전망되고 있다.

서울시에 서식하는 생물종은 약 5천여 종으로 도시화의 정도에 비해 다양한 생물종들이 서식하고 있는 것으로 나타났다(표 1, 서울의 산과 공원).

표 1의 집계된 현황 조사가 같은 강도를 가진 일제 조사가 아니기 때문에 지역별로 단순 비교하기는 어렵지만, 서울시 생물종의 지역별 분포를 살펴보면, 산지의 경우 주요 산인 북한산 국립공원에서 가장 많은 2,227종이 조사되었으며, 청계산 1,341종, 관악산 1,210종, 남산 1,174종 등이 서식하는 것으로 조사되었다. 하천의 경우, 서울을 동서로 가로지르는 한강에서 1,655종으로 가장 많은 생물종이 나타났으며, 그 다음으로 청계천 787종, 단천 748종, 중랑천 728종으로 나타났다. 청계천의 경우 복원에 따른 서식환경 개선으로 생물종이 증가되었으며, 생물종 조사강도가 커서 비교적 많은 생물종이 기록된 것으로 판단된다. 전체 유로 중 서울구간 유로가 6.8km로 비교적 짧은 단천의 경우, 2002년에 생태경관보전지역으로 지정될 정도로 생태성이 우수하여 비교적 많은 생물종이 나타난 것으로 보인다.

이러한 서울시의 생물상 조사에서 보듯이, 서식지의 면적이나 규모는 생물종다양성에 직접적인 영향을 준다

(MacArthur and Wilson, 1963; Bellamy *et al.*, 1996; Chisholm *et al.*, 2018; Kunin *et al.*, 2018). 섬생물지리학에서 면적과 종 수의 관계는 로그곡선 형태를 그리면서 최종적으로 서식지가 가지는 수용력에 귀결된다(이도원, 2001). 보전생물학자들은 이러한 관계를 보호지역 크기를 결정하거나 서식지 파편화에 따른 종 수의 감소를 예측하는 등의 다양한 보전계획에 응용할 수 있는 기준들을 제시하였다(Diamond, 1975; May *et al.*, 1995; Wu and Vankat, 1995). 도시나 농경지 등에 의해 자연지역이 점점 파편화되는 곳은 야생 동·식물의 서식지가 섬과 같이 고립되게 된다. 그렇기 때문에 서울과 같이 도시화율이 높은 지역은 야생 동·식물 서식지의 절대적 면적을 넓힐 수는 없더라도 효과적인 경관파편화 관리 및 네트워크 연구를 통해 메타개체군 및 서식지를 형성하여 넓은 면적효과를 나타내는 것이 바람직하다(Forman, 1995; Bunce and Jongman, 1993; Kalkhoven, 1993). 이를 위해 수도권의 경관파편화에 대한 정량적 평가 및 영향을 환경생태계획에 반영해야 할 필요가 있다.

국내의 경관파편화 관련 연구는 그 필요성이 요구되고 있음에도 불구하고 공간자료 및 생물상 수집 자료의 미비로 그 연구가 활발하게 이루어지지 않았다(백경진 등, 2005). 반면에, 산림이나 조류 네트워크에 대한 연구는 최근 들어 활발한 편이다. 차수영·박종화(1999)는 서울시의 조류 서식지 적합성 평가를 이용하여 녹지를 점, 거점, 핵으로 분류하고 녹지 네트워크를 구상하였다. 이를 통해 연결성이 부족한 지역에 있어서의 신규 녹지조성지역에 대한 방법을 제공하고 생태적 관리방안을 제시하였다. 박찬열 등(2011)은 서울시 생태이동통로의 설치 효과를 조류이동 조사를 통해 살펴보았으며, 강완모·박찬열(2011)은 1975년부터 2006년까지 서울시 녹지의 시계열 변화를 살펴보고, 그래프 이론을 이용하여 개별 녹지간의 연결성을 분석하였다. 이를 이용하여 과거와 현재의 녹지망 추세를 진단하고 서울시의 녹지 연결망의 중요 요소를 도출하여, 최종적으로 추가적으로 필요한 녹지 위치와 규모를 제안하였다. 강완모 등(2014)은 그래프 이론을 적용하여 국내 7대 광역시의 산림연결성을 비교하였다. 연구결과 대구, 대전, 울산은 높은 산림

표 1. 서울시 분류군별 야생동식물 종 수

총계	포유류	조류	양서파충류	어류	저서무척추	곤충	균류
5,083	30	224	32	75	158	2,204	364

연결성을 보이는 반면, 광주, 부산, 서울, 인천은 낮은 연결성을 보이는 것으로 나타났다. 이를 바탕으로 산림의 연결성을 증진시키기 위해서 소규모 산림녹지가 중요하다고 그들은 강조하였다. 차수영·박종화(1999), 박찬열 등(2011), 강완모·박찬열(2011), 강완모 등(2014)은 모두 서울시의 녹지를 대상으로 녹지 연결망을 공간적으로 파악했다는 점에서 중요한 의의가 있다. 그러나 연결성 분석은 가상의 이동성을 가정하는 것이기에 실증적인 검증 부분이 미흡하며, 대상이 주로 조류에 맞추어져 있는 단점이 있다. 반면에, 본 연구에서 다루는 경관파편화는 물리적인 이동 장벽을 분석하기 때문에 앞선 연구들에 비해 실증적이며, 도시계획이나 보전 계획에 직접적으로 활용할 수 있다는 장점이 있다.

경관파편화에 대한 국외 연구는 몇몇 연구자들을 중심으로 이루어지고 있다. Jaeger(2000), Jaeger *et al.*(2007), Moser *et al.*(2007) 등은 경관파편화는 생물다양성을 훼손하는 주요한 원인으로 보고 경관파편화의 정도를 정량화 하려는 연구를 시도하였다. 그들은 우선 경관파편화의 유형들을 살펴보았으며 이를 정량화하려는 다양한 지수를 개발하였다. Jaeger *et al.*(2007)은 Jaeger(2000)가 개발한 다양한 지수 중 유효 연결망 크기(Effective Mesh Size, EMS)를 개선하여 독일의 Baden-Württemberg 주의 파편화 지수를 정량화 하였다. 그러나 Jaeger *et al.*(2007)의 방법은 계획단위 내에서만 경관파편화 지수가 구해지는 단점이 있어 Moser *et al.*(2007)은 이를 개선하기 위해 계획단위와 연결된 녹지를 포함하여 계산하는 교차경계 연결성(Cross-Boundary Connections, CBC)을 개발하였다. Girvetz *et al.*(2008)은 캘리포니아 주를 대상으로 Jaeger *et al.*(2007)과 Moser *et al.*(2007)의 두 유효 연결망 크기를 비교하고, 이를 지역계획에 활용하기 위한 다양한 방법론들을 제시하였다. Li *et al.*(2010)은 기존의 방법론을 이용하여 중국 전역의 경관파편화 정도를 분석하였으며, 멸종위기 식물과 포유류의 종풍부도와의 비교를 통해 파편화 정도를 검증하고 이에 따른 보전계획을 제안하였다.

현재 환경부에서는 광역생태축 계획 수립과 함께 로드킬 저감 계획들을 수립하고 있다(국립생태원, 2016). 이를 위해서 공간적으로 정량적인 연결성 및 파편화 평가에 유효 연결망 크기의 교차경계 연결성 방법론을 개선할 필요성이 제기되고 있다(Moser *et al.*, 2007; Girvetz *et al.*, 2008; Li *et al.*, 2010).

본 연구에서는 경관파편화 측정 수단인 유효 연결망 크기 기법의 분석을 통해 서울시와 그 인근지역에 대한 경관파편화를 분석하고, 이를 통해 다양한 규모에서의 서식지 파편화를 정량화 하고, 그 유용성을 확인해 보고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 유효 연결망 크기

최근 경관을 측정(metrics)하기 위해 생태학적 변화를 통합하는 방법들이 제안되고 있다. 그러한 방법 중 하나인 유효 연결망 크기는 경관이나 서식지에서 두 공간이 만날 수 있는 확률을 표현하는 것으로 도로와 같은 장벽으로 인해 분리되지 않았음을 의미한다(Jaeger, 2000). 또한 서식지에서 임의적으로 위치한 동물이 장벽 없이 접근할 수 있는 면적의 평균 크기로 해석할 수도 있다.

경관파편화는 '다양한 파편화 요소'들에 의한 요인이다. 경관파편화를 규명하기 위해서는 우선 파편화에 의해 영향을 받는 생태적 변화 및 생물에 관한 경관 요소들을 찾는 것이다. 이러한 파편화 요소를 '파편화 요소(Fragmentation Geometry, FG)'로 정의한다. 도로, 철로, 도시화지역, 산업지역, 농경지, 큰 강이나 호수, 높은 산등은 동물의 이동에 장벽으로 작용할 수 있고, 자연적인 것과 인위적인 경관요소들 사이의 결합된 장벽효과를 찾아내기 위한 요소가 될 수 있다(Gerlach and Musolf, 2000; Girvetz *et al.*, 2008). 공간 단위 경계들은 종종 생태권역이나 유역 단위와 같은 생태적 구분을 기초로 한다. 환경부의 환경관리 단위나 생태계 분석에서는 주로 유역 단위를 많이 쓰기도 하지만, 대부분의 계획가들은 행정단위로 정의된 행정경계를 사용한다. 따라서, 본 연구에서는 행정경계를 공간 단위로 교차경계 연결성 방법론을 적용하였다(Girvetz *et al.*, 2008).

교차경계 연결성(CBC) 방법론은 다음과 같은 수식으로 표현할 수 있다.

$$m_{eff}^{CBC}(j) = \frac{1}{A_{ij}} \sum_{i=1}^n A_{ij} A_{ij}^{comp}$$

여기서 n 은 교차된 행정 단위 j 의 수, A_{ij} 는 A_j 는 j 행정 구역 내의 patch i 의 면적을 의미하며, A_{ij}^{comp} 는 A_j 의 행정

구역 외부면적을 포함하는 면적을 의미한다.

위 수식을 통해 계산된 유효 연결망 크기의 수치가 높으면 경관파편화가 낮게 나타나는 것을 의미하며, 반대로 낮으면 경관파편화가 높게 나타나는 것을 의미한다.

분석을 위해서 ESRI社의 ArcGIS 10.7에서 제공되는 유효 연결망 크기 도구를 사용하였다. 이 도구는 파편화 요소인 파편화 요소와 행정 단위 경계 등의 공간자료를 기반으로 교차경계 연결성을 계산해준다. 이 도구는 우선 파편화 요소 레이어로부터 패치와 행정단위의 면적을 계산하고 각 단위의 면적과 파편화되지 않은 패치를 교차(intersect)한다. 각 행정단위 내에서 파편화되지 않

은 각 패치들의 면적은 위의 수식에 따라 계산된다. 위 수식에 따라 행정구역 밖의 연결한 패치를 계산하는 Cross-boundary connections와 행정구역으로 패치를 자르는 cutting-out 모두 계산되었지만, 본 연구에서는 상대적으로 편차가 작은 교차경계 연결성(Cross-boundary connections, CBC)에 대해서만 분석을 실시하였다(Girvetz *et al.*, 2008).

2. 환경변수

경관파편화분석을 위한 환경변수는 그림 1과 같이 구

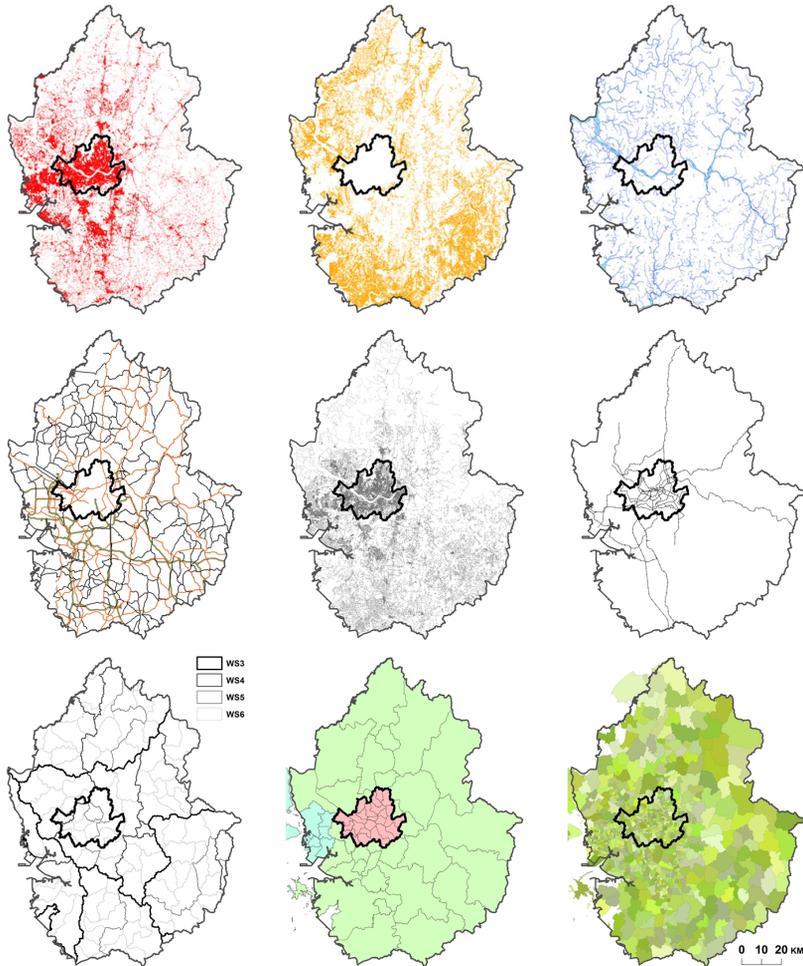


그림 1. 연구에 사용된 공간자료

* 왼쪽에서 오른쪽, 위에서 아래 순으로 시가지 건조지역, 농경지역, 하천을 포함한 수역; 철도, 일반도로, 주요도로; 표준유역도, 시군구 경계, 읍면동 경계.

표 2. 경관파편화 요소 정의

경관파편화 요소	포함된 경관파편화 요소들
FG1	고속도로, 주요도로, 철로, 시가지 지역
FG2	FG1를 포함하여 일반도로
FG3	FG2를 포함하여 농경지역
FG4	FG3을 포함하여 주요 강, 하천, 호수

축하였다(Gerlach and Musolf, 2000; Girvetz *et al.*, 2008). 경관파편화 요소를 구성하기 위하여 환경부에서 제공하는 중분류 토지피복도를 사용하였다. 본 연구에 사용된 중분류 토지피복도는 2013년 3차 갱신 자료로 2010년 촬영된 항공사진을 기반으로 제작되었다(환경공간서비스). FG1을 생성하기 위해서 토지피복도 중 주요도로들이 포함된 시가지건조지역을 추출하였으며, FG2는 FG1을 포함하여 교통연구원에서 제공한 도로망도에서 주요도로를 제외한 나머지 도로에 5m 버퍼를 설정하여 합치는 작업을 수행하였다. FG3은 중분류 토지피복도에서 농경지 지역을 추출하고 FG2와 결합하였다. 최종적으로 FG4는 FG3과 토지피복도에서 수체(waterbody)부분을 합쳐

분석에 필요한 경관파편화 요소를 생성하였다(표 2).

III. 연구 결과

1. 경관파편화 요소들

그림 2의 1열은 수도권 시·군·구 단위에서의 경관파편화 분석 결과이다. 수도권 전체를 보면 수도권 북동부 지역의 경관파편화가 낮게 나타났으며, 서울을 비롯한 인천 지역이 상대적으로 경관파편화가 높게 나타났다. 이는 서울을 비롯하여 인천과 경기 남부지역이 상대

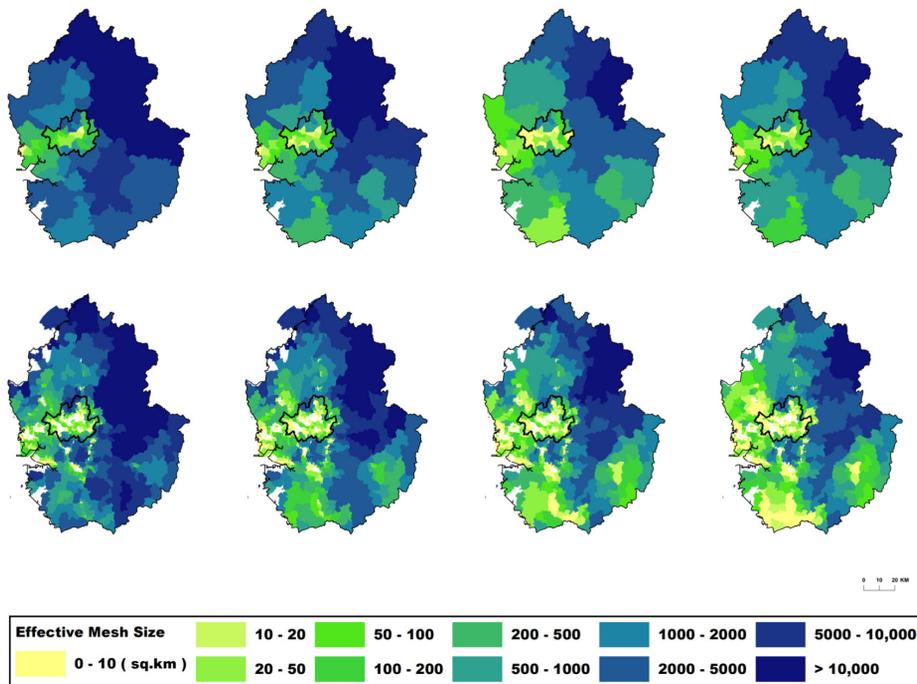


그림 2. 수도권 내 경관파편화 평가 결과

* 1열 수도권 시군구; 2열 수도권 읍면동.

** 왼쪽에서 오른쪽으로 FG1, FG2, FG3, FG4.

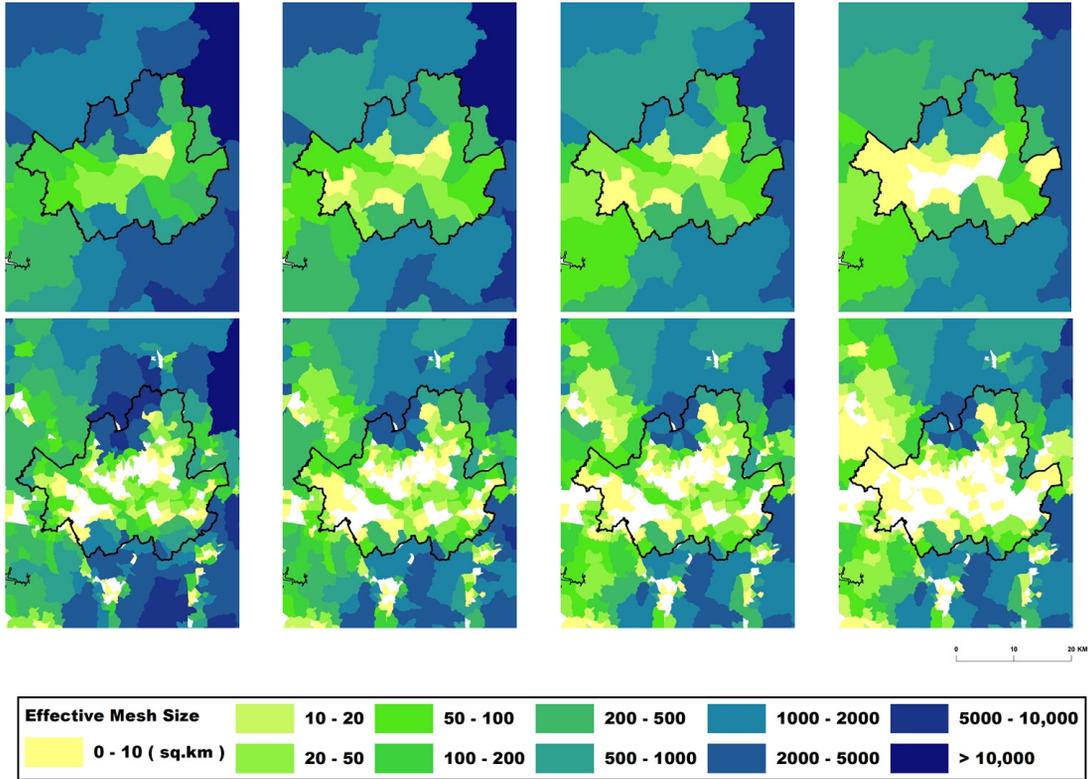


그림 3. 서울시 내 경관파편화 평가 결과

* 1열 서울시 구(區), 2열 서울시 동(洞).

** 왼쪽에서 오른쪽으로 FG1, FG2, FG3, FG4.

적으로 도시화가 높게 진행되어 서식지가 많이 파편화되었음을 의미하며, 서울에서 확장되는 교통망들의 밀도가 수도권 북부지역에 비해 남부지역이 더 높기 때문인 것으로 판단된다. FG가 증가할수록 도시화 많이 된 경기 남부 지역의 파편화가 높게 나타났는데, 이는 경기 남부지역이 상대적으로 농경지 면적이 많고, 하계망의 밀도가 더 높기 때문이다(그림 1의 농경지 및 하천 분포 패턴 참조).

그림 2의 2열은 읍·면·동 단위에서의 경관파편화를 보여주고 있다. 이 단위에서의 경관파편화는 시·군·구 단위와 유사한 패턴을 보이고 있지만, 공간단위가 세분화되어 파편화 양상도 시·군·구 단위에 비해 세분화된 양상을 보여주고 있다. 이 세분화된 경관파편화는 도시화의 진행정도를 보여주기도 하는데, 특히 수원시의 권선구나 수원시 영통구 매탄동 일대처럼 동일 행정구역 내에서도 도시화 진행이 다른 곳보다 많이 진행된

곳에서 그 특징이 두드러지게 나타나고 있다. 그 밖에도 경기 남부지역의 농경지나 하천 등이 경관파편화에 지속적인 영향을 주고 있는 것으로 보인다.

서울시 지역만 확대하여 파편화를 살펴보면, 그림 3의 1열에서 보는 바와 같이, 서울 북부지역과 남부지역은 북한산과 관악산, 우면산 등의 영향으로 인해 경관파편화가 낮은 지역으로 분석되었다. 반면 서울 중심부는 오랫동안 도시화가 많이 진행되면서 대규모 녹지들이 분포하지 않기 때문에 경관파편화가 높게 나타났다. 또한 그림 3의 1열의 FG4를 살펴보면 한강의 영향으로 파편화가 증가한 것을 보여준다.

동단위로 행정단위를 낮추어 평가한 결과는 그림 3의 2열과 같다. 서울시의 경우 대부분의 지역이 도시화가 진행되어 FG1, FG2, FG3에서의 변화는 거의 보이지 않는다. 다만 FG4는 한강의 영향으로 경관파편화의 변화가 증가한 것으로 나타났다.

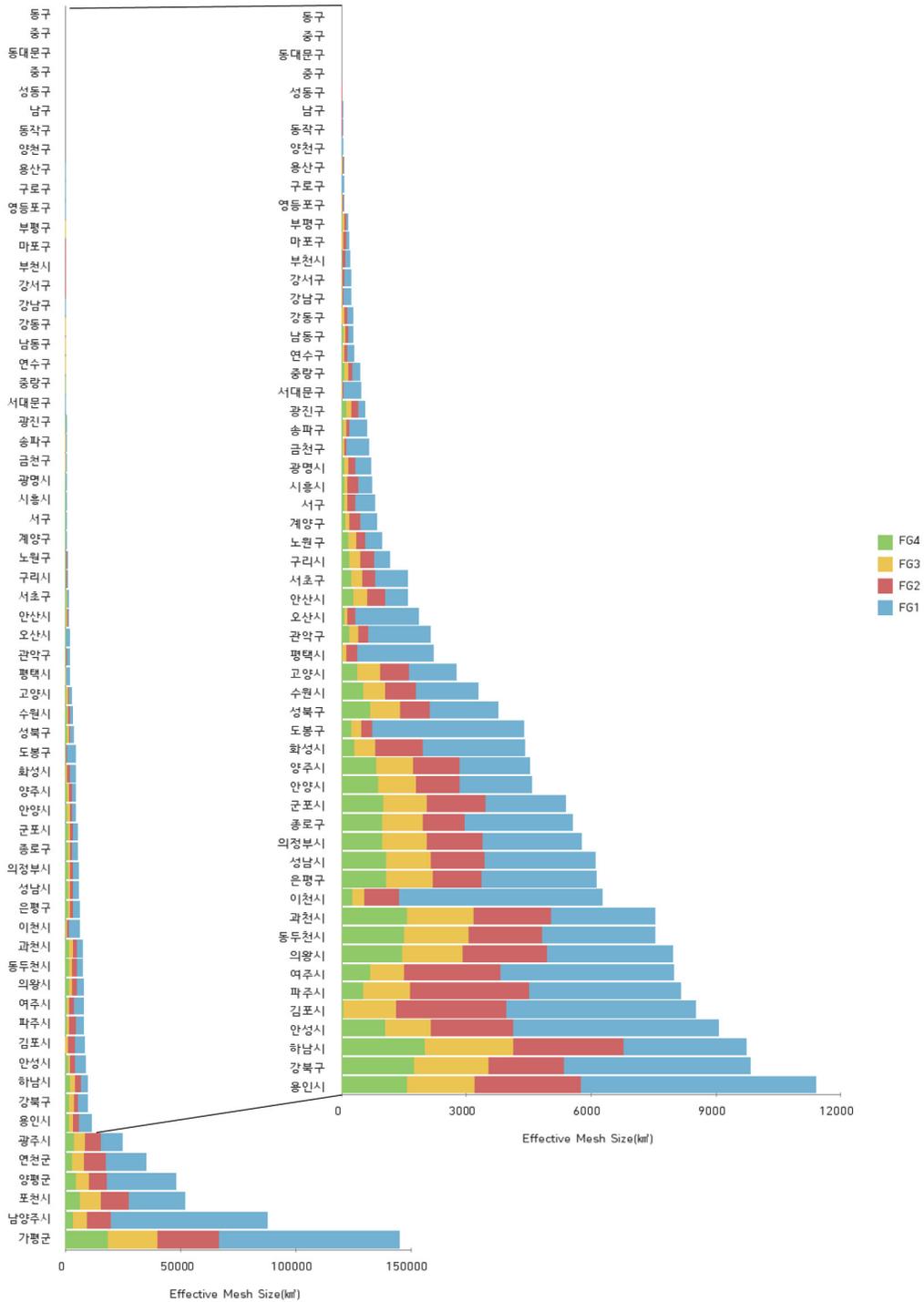


그림 4. 수도권 파편화 요소에 따른 유효 연결망 크기

* FG1을 기준으로 내림차순 정렬.

2. CBC 방법론에 의한 행정단위 별 유효 연결망 크기

그림 4는 수도권에서의 경관파편화 요소에 대한 유효 연결망 크기를 그래프로 나타낸 결과이다. 가장 경관파편화가 높은 지역으로 인천광역시 동구와 중구, 서울시의 동대문구인 것으로 나타났다. 인천광역시 동구는 대표적인 공업단지 지역으로 다른 지역에 비해 녹지가 빈약한 지역이고, 인천광역시 중구의 경우 평가단위를 내륙으로 한정하였기 때문에 인천공항이 위치한 영종도를 제외하고는 인천광역시 동구와 유사한 특성을 보이고 있었다. 서울시 동대문구의 경우는 배봉산과 천장산이 위치하고 있지만 면적에 비해 녹지비율이 현저히 떨어지는 지역으로 나타났다.

경관파편화 지수가 낮은 지역으로는 가평군, 남양주시, 양평군, 포천시 지역으로 분석되었다. 가평군 지역은 연인산, 명지산이 있는 지역으로 도시화가 진행된 지역이 집중되어 있으며 나머지는 대부분 산림지역으로

구성되어 있다. 남양주시의 경우도 서울과 인접한 지역을 제외하고 대부분이 천마산을 포함하는 산림지역으로 구성되어 있다. 양평군 지역도 마찬가지로 양평읍을 제외한 대부분이 산림지역으로 구성되어 있다. 포천시도 도시화와 농경지가 많이 분포하고 있지만 시경계의 외곽에 명성산이나 광덕산과 같은 대규모 산림들이 위치하고 있어서 경관 파편화가 낮게 나타났다. 경관파편화가 낮게 나타난 지역 대부분은 도시화된 지역이 집중되어 있고, 산림지역 등과 같은 야생동식물의 서식지들이 파편화되지 않고 넓게 분포하고 있는 것을 확인할 수 있었다.

비교적 규모가 큰 용인시의 경우는 수도권에서도 도시화가 많이 이루어진 지역이지만, 대부분 시가지화 지역들이 도로를 따라 형성되어 있어 대규모의 서식지들이 많이 남아있는 지역이다. 이천시의 경우는 영동고속도로와 중부고속도로 및 다수의 국도와 지방도들이 시를 관통하고 있다. 이러한 원인으로 FG1에서 높은 파편화 정도를 보이고 있지만, FG2, FG3, FG4에 따른 파편화

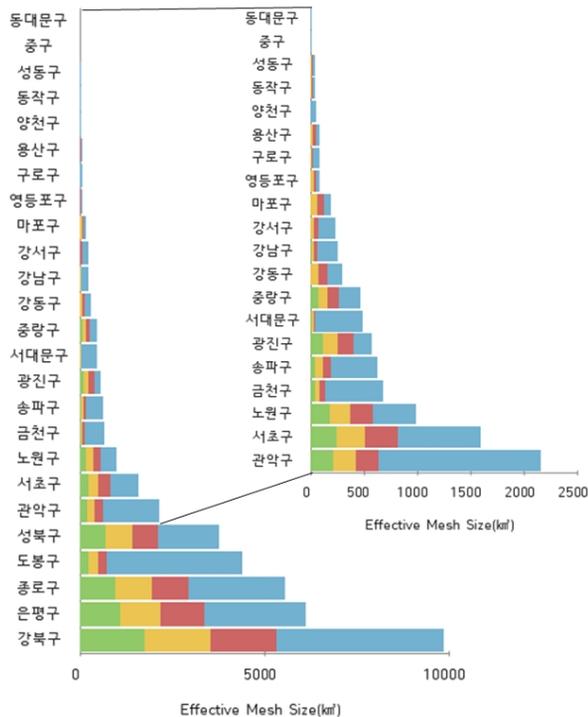


그림 5. 서울시 파편화 요소에 따른 유효 연결망 크기

* FG1을 기준으로 내림차순 정렬.

객체들이 적어 파편화 정도가 낮은 것으로 분석되었다.

그림 5는 서울시에서의 경관파편화 요소에 대한 유효 연결망 크기를 그래프로 나타낸 것이다. 서울시에서는 강북구, 종로구, 은평구가 경관파편화 정도가 낮은 지역으로 분류되었으며, 동대문구, 중구, 성동구가 파편화 정도가 높은 지역으로 분류되었다. 강동구, 종로구, 은평구는 북한산 국립공원 남사면에 위치한 지역이며, 종로구 지역은 북악산과 인왕산 등이 위치하고 있어 대규모의 산림녹지가 남아 있는 지역이다. 반면, 동대문구는 배봉산과 천장산을 제외하고는 녹지의 면적이 매우 낮다. 중구의 경우도 남산을 제외하고는 녹지가 매우 빈약하며, 성동구도 서울숲이나 한강을 제외하고는 녹지의 비율이 매우 낮은 것으로 나타났다.

도봉구와 관악구, 서대문구와 같이 FG1에 따른 경관파편화에 비해 FG2, FG3, FG4에 따른 경관파편화 비율이 낮은 것으로 파악되었다. 이 지역의 경우 주요 도로 및 시가지지역 등으로 인한 경관파편화 정도가 높지만, 나머지 경관파편화 요소(주요도로를 제외한 도로 및 농경지, 하천 등)로 파편화 되지 않아 상대적으로 넓은 서식지들이 분포하고 있다.

3. 행정단위에서 활용

경관파편화 분석이 행정단위에서 어떻게 적용되는지 각 단계의 경관파편화 요소가 모두 나타나는 서울시 서초구를 사례로 그 과정을 살펴보고자 한다(그림 6, 7). FG1의 경우, 서초구의 중심부가 시가지 지역으로 밀집되어 있으며, 한강과 남부지역의 녹지로 패치들이 구성되어 있다. 경부고속도로가 중심부를 관통하고 있지만 비교적 넓은 녹지가 분포하고 있다. FG2에서는 소로들이 녹지를 크게 파편화하고 있음을 보여준다. 이는 도심과 가까이 있는 산림지역의 특성으로, 등산로로 인하여 패치면적이 많이 줄어들어 있음을 확인할 수 있다. 또한 내



그림 6. 서울 서초구 유효 연결망 크기

* 단위: km².

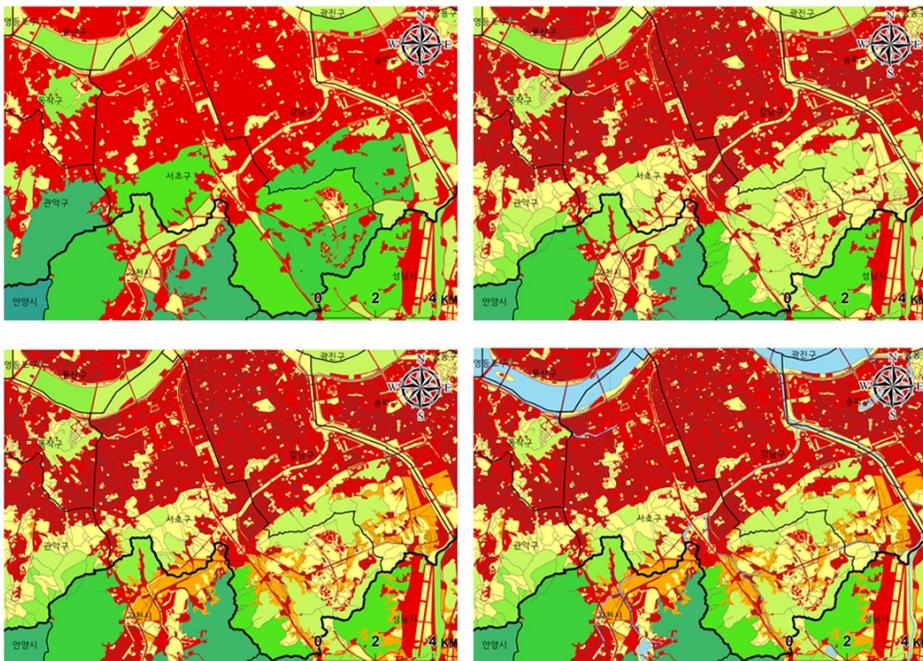


그림 7. 서울시 서초구의 파편화 요소 4단계에 따른 각 패치의 면적

* 녹색일수록 패치 면적이 넓고, 노란색일수록 좁음.

** 좌상: FG1, 우상: FG2, 좌하: FG3, 우하: FG4; 빨간색: 시가지 건조지역, 주요도로; 회색: 일반도로; 주황색: 경작지; 파란색: 수체.

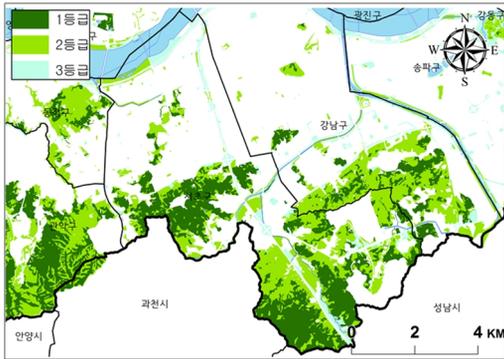


그림 8. 서울시 서초구 도시생태현황도
출처 : 스마트서울맵.

곡지구 및 세곡지구의 개발은 파편화의 경향을 크게 증가시키고 있다. FG3의 경우, 서초구의 시설재배단지나 묘목장들로 인해 농경지 면적이 나타났지만, 대부분 주요도로의 인근에 위치하고 있어 전체적인 파편화 양상에는 큰 변화가 보이지 않는다. FG4의 경우도 한강이 서초구의 북단에 위치하고 양재천이 도심 내부를 관통하여 전체적인 경관파편화 양상에 변화를 주지 않았다.

서초구는 우면산과 동쪽으로 관악산, 서쪽으로 구룡산과 대모산이 위치하고 있다. 이러한 산림과 같이 도심 내 녹지는 등산로로 인해 경관파편화가 매우 빈번하게 일어나고 있어, 이에 따른 등산로 정비가 필요해 보인다. 또한 그린벨트지역으로 묶여 있던 내곡지구와 세곡지구의 개발은 서초구의 경관파편화를 가속화시키고 있는데, 계획지구의 설정이나 지구단위 계획에서는 이러한 부분을 고려하여 도로를 우회시키거나 생태이동통로 등과 같은 저감 대책을 마련해야 할 것으로 보인다. 인근 강남구의 구룡산과 대모산도 같은 형태의 변화를 보이고 있다.

경관파편화 결과도(그림 7)와 서울시 서초구의 도시생태현황도(그림 8)를 비교해 보면 서로 상이한 결과가 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 도시생태현황도가 해당 지역 내 생태 등급을 평가한 반면, 경관파편화는 해당 지역과 연결한 주변 지역 간 파편화 정도를 평가하기 때문이다. 따라서 향후 유효 연결망 크기의 결과물과 도시생태현황도를 상호 보완하여 사용한다면, 효과적인 도시관리계획 및 환경계획이 가능할 것이다.

IV. 결론

일반적으로 녹지 및 서식지는 넓을수록 더 효과적이지만, 수도권 경우 가파른 도시의 확장이나 높은 지가로 인해 녹지의 확보가 쉽지 않다(Dramstad *et al.*, 1996; Foman, 2014). 이러한 문제를 해결하기 위해서 녹지 및 서식지의 효과적인 연결이나 파편화를 최소화하는 생태계 보전 전략이 필요하며, 현황에 대한 정량적 평가가 이루어져야 한다.

본 연구는 경관파편화 측정 수단인 유효 연결망 크기의 분석을 통해 서울시를 포함한 수도권 지역에 대한 경관파편화를 분석하였다. 분석결과 도시화가 많이 진행된 지역의 경우 경관파편화가 크게 나타났다. 특히 도시의 확장과 복잡한 교통망이 이러한 경관파편화에 큰 영향을 미치고 있는 것으로 분석되었다.

유효 연결망 크기를 분석한 본 연구는 행정단위별 도시계획이나 환경계획에 매우 유용하게 활용 할 수 있을 것으로 기대되지만, 각 행정구역의 규모(면적)에 따라 상반되는 결과가 도출되기도 하였다. 국내의 행정단위들이 유역단위들과 중첩되는 경우가 많기 때문에 생태적으로 유의미한 결과를 도출하기 위해서는 유역단위 분석이 효과적일 것으로 보인다. 이러한 유역단위의 분석은 생물종 조사 방법과 동일한 공간 스케일을 가지므로 기존의 생물종 조사 자료들을 비교하고 활용하는 데 더욱 효과적일 것이다.

향후, 분석의 영역을 전국토로 확장한다면 광역단위나 전국단위의 보호지역 계획 및 환경계획에 효과적으로 이용할 수 있다. 나아가 전국자연환경조사 등과 같은 종의 위치자료를 활용한다면 국토생태네트워크 및 생태축 연구에서 종의 서식지 단위에서의 적용이 가능 할 것으로 기대된다.

또한 국립공원과 같은 보호지역 내에서의 파편화 정도와 취약지역을 검토하고, 전국의 5대 광역생태권에 있어서 생태축과 비교 검토할 수 있다. 생물다양성 우수지역(Hotspot)은 멸종위기종이 서식하기에 최적의 장소이지만 상대적으로 작은 면적으로 분포할 것으로 예상되기 때문에 멸종위기종의 보호를 위해서는 이러한 지역을 네트워크화 하고 연결성을 높이는 방안을 강화해야 할 것이다. 이러한 생물다양성 우수지역을 연결하는 과정에서는 서식분포확률은 높지만 경관파편화가 낮게 형성된 지역이나 서식분포확률은 낮지만 비교적 경관파편

화가 높게 나타난 지역들이 혼재되어 있을 것으로 예상된다. 따라서 이러한 서식조건들을 개선하는 방향으로 전국 규모의 네트워크화 계획 방안을 수립하고 이를 토대로 지속적으로 추진할 수 있는 관리 방안 및 가이드라인을 제시할 수 있을 것이다.

참고문헌

- 강완모·김지원·박찬열·성주한, 2014, “국내 7대 광역시 산림 연결성 비교 분석” *한국농림기상학회지*, 16(2), 93-102.
- 강완모·박찬열, 2011. “그래프 이론을 적용한 서울시 녹지 연결망의 정량적 분석” *한국환경생태학회지*, 25(3), 412-420.
- 국립생태원, 2016, 「광역생태축의 보전 및 복원을 위한 기반 연구」, 서천: 국립생태원.
- 박찬열·이장호·강완모, 2011, “생태통로와 주변도로에서 야생조류의 이동 비교” *한국환경생태학회지*, 25(3), 639-648.
- 백경진·박경·강혜순, 2005, “지리산 국립공원 내 도로에 의한 산림조각화” *한국환경기술학회지*, 8(1), 63-72.
- 이도원, 2001, 「경관생태학: 환경 계획과 설계, 관리를 위한 공간생리」, 서울: 서울대학교출판부.
- 차수영·박종화, 1999, “조류서식지 평가모형을 이용한 서울시 녹지네트워크 구상” *한국조경학회지*, 27(4), 29-38.
- Bellamy, P., Hinsley, S., and Newton, I., 1996, Factors influencing bird species numbers in small woods in south-east England, *Journal Applied Ecology*, 33(2), 249-262.
- Blandón, A.C., Perelman, S.B., Ramírez, M., López, A., Javier, O., and Robbins, C.S., 2016, Temporal bird community dynamics are strongly affected by landscape fragmentation in a Central American tropical forest region, *Biodiversity and Conservation*, 25(2), 311-330.
- Bunce, R. and Jongman, R., 1993, *An Introduction to Landscape Ecology*, Florida: Lewis Publishers.
- Chisholm, R.A., Lim, F., Yeoh, Y.S., Seah, W.W., Condit, R., and Rosindell, J., 2018, Species-area relationships and biodiversity loss in fragmented landscapes, *Ecology Letters*, 21(6), 804-813.
- De Camargo, R.X., Boucher-Lalonde, V., and Currie, D.J., 2018, At the landscape level, birds respond strongly to habitat amount but weakly to fragmentation, *Diversity and Distributions*, 24(5), 629-639.
- Diamond, J., 1975, The island dilemma: Lessons of modern biogeographic studies for the design of natural reserves, *Biological Conservation*, 7, 129-146.
- Dramstad, W., Olson, J.D., and Forman, R.T., 1996, *Landscape Ecology Principles in Landscape Architecture and Land-use Planning*, Washington D.C.: Island Press.
- Forman, R.T., 1995, *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*, Cambridge: Cambridge University Press.
- Forman, R.T., 2014, *Land Mosaics: The Ecology of Landscapes and Regions*, Washington D.C.: Island Press.
- Forman, R.T., Sperling, D., Bissonette, J.A., Clevenger, A.P., Cutshall, C.D., Dale, V.H., and Jones, J., 2003, *Road Ecology: Science and Solutions*, Washington D.C.: Island Press.
- Gerlach, G. and Musolf, K., 2000, Fragmentation of landscape as a cause for genetic subdivision in bank voles, *Conservation Biology*, 14(4), 1066-1074.
- Girvetz, E., Thorne, J., Berry, A., and Jaeger, J., 2008, Integration of landscape fragmentation analysis into regional planning: A statewide multi-scale case study from California, USA, *Landscape and Urban Planning*, 86(3), 205-218.
- Jaeger, J., 2000, Landscape division, splitting index, and effective mesh size: New measures of landscape fragmentation, *Landscape Ecology*, 15(2), 115-130.
- Jaeger, J., Raumer, H., Esswein, H., Müller M., and Schmidt-Lüttmann, M., 2007, Time series of landscape fragmentation caused by transportation infrastructure and urban development: A case study from Baden-Württemberg, Germany, *Ecology and Society*, 12(1), 22 (<http://www.ecologyandsociety.org/vol12/iss1/art22>).
- Kalkhoven, J.T.R., 1993, Survival of populations and the scale of the fragmented agricultural landscape, in Bunce, R.G.H., Ryszkowski, L., and Paoletti, M.G.,

- eds., *Landscape Ecology and Agroecosystems*, Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 83-90.
- Kunin, W.E., Harte, J., He, F., Hui, C., Jobe, R.T., Ostling, A., and Smart, S.M., 2018, Upscaling biodiversity: Estimating the species-area relationship from small samples, *Ecological Monographs*, 88(2), 170-187.
- Li, T., Shilling, F., Thorne, J., Li, F., and Schott, H., 2010, Fragmentation of China's landscape by roads and urban areas, *Landscape Ecology*, 25(6), 839-853.
- MacArthur, R. and Wilson, E., 1963, An equilibrium theory of insular zoogeography, *Evolution*, 17(4), 373-387.
- May, R., Lawton, J., and Stork, N., 1995, *Assessing Extinction Rate*, Oxford: Oxford University Press.
- Moser, B., Jaeger, J., Tappeiner, U., Tasser, E., and Eiselt, B., 2007, Modification of the effective mesh size for measuring landscape fragmentation to solve the boundary problem, *Landscape Ecology*, 22(3), 447-459.
- Valente, J.J., Fischer, R.A., Ryder, T.B., and Betts, M.G., 2019, Forest fragmentation affects step choices, but not homing paths of fragmentation-sensitive birds in multiple behavioral states, *Landscape Ecology*, 34(2), 373-388.
- Wu, J. and Vankat, J.L., 1995, Island biogeography: Theory and applications, in Nierenberg, W.A., ed., *Encyclopedia of Environmental Biology (Vol. 2)*, San Diego: Academic Press, 371-379.
- 서울의 산과 공원 <http://park.seoul.go.kr>
스마트서울맵 <https://map.seoul.go.kr/smgis/>
환경공간서비스 <https://egis.me.go.kr>
- 교신 : 김장수, 32588, 충청남도 공주시 공주대학로 56, 공주대학교 지역개발연구소(이메일: matra99@kongju.ac.kr)
- Correspondence : Jangsoo Kim, 32588, 56 Gongju-daehak-ro, Gongju-si, Chungcheongnam-do, Korea, Institute of Regional Development Research, Kongju National University (Email: matra99@kongju.ac.kr)

투고접수일: 2020년 3월 31일

심사완료일: 2020년 4월 10일

게재확정일: 2020년 4월 17일