산림과편화에 대한 국내 · 외 연구동향

김은영¹⁾ · 송원경¹⁾ · 이동근²⁾

¹⁾ 한국환경정책 · 평가연구원 · ²⁾ 서울대학교 조경 · 지역시스템공학부

Forest Fragmentation and its impacts : A review

Kim, Eunyoung¹⁾ · Song, Wonkyong¹⁾ and Lee, Dong-Kun²⁾

¹⁾ Korea Environment Institute,

²⁾ Department of Landscape Architecture and Rural System Engineering, Seoul National University.

ABSTRACT

Habitat loss and fragmentation are ongoing major anthropogenic impacts on landscapes, which can strongly affect ecosystems, populations and species. The studies on forest fragmentation have been progressed, but the studies on definition of forest fragmentation and their synthetic trend in South Korea still leaves much to be desired. Therefore we set the definition of forest fragmentation and reviewed the related papers. We can give a definition that forest fragmentation is not only a process of spatial landscape transformation, but also a process of ecosystem change by it. The trend of studies on forest fragmentation divided into two fields, landscape and ecosystem changes. Forest fragmentation caused by land change altered the composition and configuration of forest patches. Most studies related on that analyzed the change using landscape index. The effects of forest fragmentation on ecosystem subdivided into three fields : biodiversity, edge effects, and invasive species, but the studies in South Korea is short. The study on relations between forest fragmentation and ecosystem change is necessary to face the Convention on Biological Diversity in South Korea. In addition, the fundamental studies on biodiversity is important to mitigate against forest fragmentation.

* 본 연구는 2011년도 산림청 산림과학기술개발사업(과제번호 : S110910L070120) 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

First author : Kim, Eunyoung, Korea Environment Institute, 290 Jinheungno, Eunpyeong-gu, Seoul 122-706, Korea,
Tel : +82-2-6922-7800, E-mail : eykim@kei.re.kr

Corresponding author : Song, Wonkyong, Korea Environment Institute, 290 Jinheungno, Eunpyeong-gu, Seoul 122-706, Korea.

Tel : +82-2-380-7738, E-mail : wksong@kei.re.kr

Received : 12 March, 2012. **Revised** : 4 April, 2012. **Accepted** : 19 April, 2012.

Key Words : Urbanization; Landscape change; Biodiversity; Edge effects; Invasive species; Convention on Biological Diversity.

I. 서 론

우리나라는 도시확장 등 인간활동에 의해 산림면적의 감소와 파편화 등 산림훼손이 심각한 수준에 이르고 있다. 이러한 무분별한 산림훼손 및 파편화는 생태계뿐만 아니라 인간에도 영향을 미쳐 종합적인 관리가 필요하다. 산림파편화는 산림면적이 감소하거나 하나의 산림이 두 개 혹은 그 이상으로 분리되는 과정을 말한다(Wilcove et al., 1986). 특히, 산림파편화는 인위적 영향으로 인해 경관에 영향을 미치며 이러한 경관변화는 생태계, 개체군뿐만 아니라 개별종에도 영향을 미친다(Young et al., 1996; Young and Clarke, 2000). 또한, 다양한 생물학적 프로세스와 개체군 크기, 종 분포, 서식지의 구조와 질, 외래종 출현 가능성 등의 요소에 영향을 미친다(Pardini, 2004).

산림파편화 연구는 국내외에서 활발히 진행되고 있으며 산림파편화로 인한 경관변화 연구와 생태계 변화 연구로 크게 구분할 수 있다. 경관변화 연구는 도시화에 따른 토지이용변화가 산림분포 및 패턴의 변화에 미치는 연구로서 국내외에서 활발히 진행되고 있는 실정이다. 이러한 경관변화 연구는 McGarigal and Marks (1995)에 의해 경관지수를 산출하는 FragStats 프로그램이 개발된 이후에 더욱 활발히 진행되었다. 산림파편화에 따른 생태계 변화 연구는 서식지 소실과 단절로 인한 생물다양성 감소, 산림 파편화로 인한 가장자리 효과 및 외래 침입종 증가 등의 연구가 주를 이루고 있다. 산림파편화가 생물다양성에 미치는 연구는 국외에서는 매우 활발히 이루어지는 반면 국내 연구는 매우 미흡한 수준으로 지속적인 산림파편화 현황파악과 그로 인한 영향을 최소화하기 위한 토지이용계획과의 연계방안 및 저감방안 수립을 위한 기반 마련이 중요하다.

현재까지 국내에서 산림파편화와 관련된 연구가 다수 진행되고 있음에도 불구하고 산림파편화에 대한 정의뿐만 아니라 연구동향을 제시한 연구가 전무한 실정이다. 따라서 본 연구의 목적은 산림파편화와 관련된 연구동향을 검토하여 지금까지의 연구 수준과 향후 국내 산림파편화 연구를 위해 필요한 연구분야를 확인하는 것이다.

II. 연구방법

산림파편화에 대한 영향을 리뷰하기 위해 국내외의 주요 생태학관련 저널(Agriculture, Ecosystem & Environment, Applied Geography, Biological Conservation, BioScience, Conservation Biology, Ecological Application, Ecological Modeling, Ecology, Ecology Letters, Ecosystems, Forest Ecology and Management, Landscape and Urban Planning, Landscape Ecology, Nature, Oikos, Journal of Ecology and Field Biology, 한국환경복원기술학회지, 한국환경생태학회지, 환경영향평가 등)에서 파편화와 관련된 키워드를 이용하여 1차 검색한 후 초록을 검토하여 산림파편화에 따른 영향연구를 중심으로 한 203건의 논문을 대상으로 하였다. 국내외 산림파편화 연구동향을 분석하

표 1. 산림파편화 연구 분류.

구 분	내 용	논문 편수
분석대상	토지이용 및 경관 변화	40
	생물다양성 및 개체군 변화	78
	가장자리 효과	61
	침입종 증가	45

(논문 중복 포함)

기 위해 주제별로 구분한 결과 토지이용 및 경관 변화, 생물다양성 및 개체군 변화, 가장자리 효과, 침입종 증가로 분류되었다(표 1).

III. 산림파편화와 영향

1. 산림파편화 개념

산림파편화는 구조적 측면, 기능적 측면, 구조

표 2. 산림파편화 정의.

구분	산림파편화 정의	출처
구조	크고 연결된 서식지의 면적이 감소하거나 둘 혹은 그 이상의 파편으로 나뉘는 것	Wilcove et al., 1986
	하나의 큰 패치가 외부의 교란에 의해 고립되거나 기존의 서식지와 연결정도가 낮게 변화하는 등 서식지의 공간적 배치가 변화하는 것	Wiens, 1989
	원래의 연결된 서식지보다 면적이 작고 패치 수가 증가하게 되는 사건	Bender et al., 1998
	서식지 면적 감소 및 고립	Collinge, 1996
	하나의 경관에서 패치가 소멸되는 것	De Santo and Smith, 1993
	다른 식생 혹은 토지이용 매트릭스에 둘러싸인 잔존 식생 패치가 생성되는 것	Saunders et al., 1991
	서식지가 단절되고, 생태계 혹은 토지이용 타입이 더 작은 단위로 나뉘는 것, 토지 변화의 공간적인 과정	Krebe, 1994; Forman, 1995; Bogaert et al., 2004
	가장 단순한 형태에서의 이질성, 서식지 혹은 비서식지의 조합	Frankline et al., 2002
	하나의 경관에서 패치 수가 증가하는 것	Goodwin and Fahrig, 2002
	토지이용변화의 결과로서 패치가 분리, 고립되거나 반고립 상태로 되는 것	Heywood and Watson, 1995
	서식지로부터 일부분이 분리되는 것으로 서식지 소실과는 다른 개념임	Fahrig, 2003; Yaacobi et al., 2007
	연결된 서식지가 작고 연결되지 않은 서식지 패치로 발생하는 과정	Fahig, 2003; Cayuela, 2009
	공간적 경관의 변화, 서식지 소실, 패치수의 증가 등의 과정	Forman, 1995; Jaeger, 2000; Bogaert et al., 2004
기능	자연녹지에서 새로운 토지이용으로 변화하는 것. 잔존하는 서식지는 불가피하게 더 작은 부분으로 나뉨	Groom and Schumaker, 1993
	생태계 기능으로서 중요한 연결성이 분열되는 것	Lord and Norton, 1990
구조 / 기능	인간에 의한 환경적 기능저하의 특별한 형태	Haila, 2002
	자원과 조건의 비연결 상태를 이끄는 매커니즘의 조합이 서식지 파편화의 상태와 과정을 말함	Franklin et al., 2002
	연결된 서식지의 단절, 면적의 감소, 가장자리의 증가, 산림내부지역의 감소, 패치의 고립도 증가, 평균 패치크기 감소 등의 과정 전체 경계 길이의 증가	Davidson, 1998 Forman, 1995
	서식공간을 점차 감소, 고립화시키며 가장자리 효과에 의한 영향을 증가시키는 등의 역동적인 생태학적 과정	Forman and Godron, 1986; Reed et al., 1996; Franklin, 2001; McGarigal, 2002; 김명수 등, 2005
	지역적 차원에서는 산림 소실 및 단절로 인한 경관의 구조, 기능, 변화를 초래하며, 국지적 차원에서는 서식지 감소, 고립화, 가장자리 효과에 의한 영향 등 역동적인 생태학적 과정	김은영, 2010

그림 1. 파편화가 생태계에 미치는 영향에 대한 개념적인 모델.
(Hobbs and Yates, 2003 일부 수정 · 보완)

와 기능이 결합된 측면으로 구분하여 다양하게 정의되고 있다(표 2). 구조적 측면에서 산림파편화는 하나의 산림이 인위적인 요소에 의해 둘 혹은 그 이상의 파편으로 구분되는 구조적인 측면에서 정의하고 있으며(Wilcove et al., 1986; De Santo and Smith, 1993; Krebe, 1994; Collinge, 1996; Bender et al., 1998; Fahrig, 2003; Yaacobi et al., 2007), 기능적 측면에서는 생태계 기능으로서 중요한 연결성이 분열되는 것(Lord and Norton, 1990)이라고 정의한 바 있다. 하지만 최근에 제시된 논문에서는 산림파편화를 구조적 측면과 기능적 측면을 모두 포함하여 정의하고 있다(Lord and Norton, 1990; Franklin, 2001; McGarigal, 2002; Fahig, 2003; 김명수 등, 2005; Cayuela, 2009; 김은영, 2010).

따라서 본 연구에서는 산림파편화의 구조적 측면과 기능적 측면이 결합된 개념으로서 산림파편화를 인위적인 요소에 의한 서식지 소실 및 단절 등의 경관변화 과정뿐만 아니라 경관변화로 나타나는 생태학적 변화의 과정이라고 정의하였다.

앞서 말한 바와 같이 산림파편화는 산림면적

감소, 경관 프로세스 변화, 고립도 증가, 개체군 감소 등의 다양한 영향을 초래한다(Hobbs and Yates, 2003). 이러한 영향은 2차, 3차의 상호 복합적인 영향을 초래하여 최종적으로 생물다양성 변화에 영향을 미친다. 이와 같이 산림파편화는 토지이용 변화라는 경관의 변화를 넘어 개별 종뿐만 아니라 종간의 상호작용 등 생태계 변화를 야기한다. 또한, 산림크기 감소와 경관 프로세스 변화로 인한 가장자리 효과, 외래종 도입, 교란은 기존의 생태계의 종구성에도 영향을 미치며 이는 종다양성 변화를 초래한다(그림 1).

2. 산림파편화와 경관변화

경관의 구성과 배치는 생태계 기능과 서식지 질에 영향을 미치는 중요한 요소로 인식되고 있다(Urban et al., 1987; Turner, 1989). 산림이 파편화되면 산림패치의 크기는 감소하고 패치수는 증가하게 되며 고립도와 가장자리의 비율이 증가하게 된다(Fletcher Jr, 2005). 하지만 이러한 산림파편화가 지속되면 패치크기는 감소하고 일부 작은 면적의 패치가 소멸되어 패치수도 감소하게

될 뿐만 아니라 이질적인 형태의 경관이 동질적인 형태의 경관으로 변화한다(Lee et al., 2010). 이러한 경관패턴에 대한 연구는 경관생태학을 바탕으로 패치크기, 패치수, 가장자리 길이, 고립도 등의 지수를 정량화하고 교란과정을 정량화하여 경관구조와 생태계 기능과의 관련성을 연구하였다(Dorner et al., 2002). 특히, 토지이용 변화와 같은 경관변화에 따른 기능변화를 예측하는 연구가 다양하게 진행되었다.

국외의 경우, 산림파편화로 인한 경관변화 연구는 경관패턴 및 매트릭스 변화(Arnot et al., 2004; Herold et al., 2005; Yu and Ng, 2006; DiBari, 2007; Irwin and Bockstael, 2007), 야생동식물의 서식특성 및 연결성 기능 변화(Bender et al., 2003; Turner et al., 2003; Zhang and Wang, 2006; Ferraz et al., 2007; Michalski and Peres, 2007) 등 다양한 분야에서 진행되고 있다. 국내 연구의 경우 국외와 유사한 연구동향을 가지고 있지만 대부분의 연구가 토지이용 변화 및 도시화에 따른 경관패턴 변화 연구와 파편화 현황분석 연구가 다수를 차지하고 있다(김명수와 안동만, 1996; 박경훈 등, 2004; 정성관 등, 2005; 이동근 등, 2005; 이동근 등, 2006; 이동근 등, 2007; 허성구 등, 2007; 서용철과 김영표, 2010). 이 중 이동근 등(2006)은 산림파편화로 인한 누적적인 영향을 분석하였으며, 이동근과 김은영(2008)은 경관지수를 이용하여 산림파편화 유형을 제시하였다. 이와 같은 경관패턴 연구는 토지이용 변화를 패치면적, 패치수 등과 같은 경관지수로 정량화하는 연구이나 경관지수의 의미를 해석하는데 한계가 있다.

3. 산림파편화와 생태계 변화

1) 생물다양성 감소

토지이용 변화에 따른 파편화는 산림생태계 내 생물다양성 감소에 주요한 원인이다(Harris, 1984; Honnay et al., 2005). 작은 서식지는 작은 개체군을 포함하며 고립된 서식지의 종은 단절된

다른 서식지로 이동이 되지 않는다. 파편화된 서식지의 질이 종이 서식하는데 좋은 조건이더라도 일정한 개체군 크기 이하일 경우 멸종에 극도로 취약하게 될 것이다(Shaffer, 1981; Lande, 1988). 이와 같이 멸종가능성은 작은 개체군이 서로 고립된 상태에서 나타날 확률이 높으며, 다른 파편으로 개체를 이주시키는 방법 등을 통해 멸종을 방지할 필요가 있다(Brown and Kodrick-Brown, 1977). 따라서 개체군은 패치크기와 고립도가 한계에 다다를 때 멸종될 가능성이 있다(Honnay et al., 2005).

산림파편화와 생물다양성과 관련한 국외 연구의 경우, 파편화로 인한 산림식생 종다양성 및 서식환경 변화 연구(Angold et al., 2006; Cayuela et al., 2006; Chave and Norden, 2007; Cousins et al., 2007), 야생동물의 서식공간 및 개체군에 미치는 영향연구(Tscharntke and Brandl, 2004; Angold et al., 2006; Lussier et al., 2006; Croci et al., 2008) 등이 다양하게 진행된 것에 비해 국내에서는 매우 제한적으로 연구가 진행되고 있는 실정이다. 국내의 경우 이동근 등(2010)은 산림파편화가 조류종다양성에 미치는 영향을 분석하였다. 이와 같이 국내 산림파편화가 생물다양성에 미치는 영향 연구는 매우 미흡한 실정이다.

2) 가장자리 효과

가장자리는 인접한 두 개의 생태계를 구분하는 경계선을 말하며, 인접한 생태계간의 차이는 급작스럽거나 단계적인 변화를 보인다(Ratti and Reese, 1988; Lennon et al., 1997). 산림패치의 가장자리는 산림내부와 달리 미기후와 생태학적 조건이 달라진 경계지역이라고 할 수 있다(Matlack, 1993). 이러한 가장자리의 효과는 산림생태계의 비생물학적인 과정과 생물학적 과정에 영향을 미친다(Laurence et al. 2002; Lindenmayer and Fischer, 2006). 즉, 가장자리 효과는 가장자리 생성에 따른 비생물학적인 구조적 변화가 다양한 생태학적 반응과 구조적 반응을 초래하여 생물학

그림 2. 산림경관 내 가장자리 생성에 따른 변화과정 및 반응(Harper et al., 2005 일부 수정 · 보완).

적인 종구성의 변화를 초래한다(Harper et al., 2005)(그림 2).

가장자리 효과에 대한 비생물학적인 가장자리 효과는 풍속, 온도 및 습도, 광도의 변화(Saunders et al., 1991; Matlack and Litvaitis, 1999) 뿐만 아니라 국지적 강수량과 산림밀도의 변화(Roberts, 1973), 산불 발생가능성의 변화(Lovejoy et al., 1984), 바람의 흐름 촉진 및 잔존식생간의 경관 연결성 훼손(Lovejoy et al., 1986; Lindenmayer et al., 1997) 등이 있다. 생물학적인 가장자리 효과 연구는 조류의 둥지 약탈 및 생존(Lahti, 2001; Poulin and Villard, 2011), 양서류의 시·공간적인 서식지 변화(Kolbe and Janzen, 2002), 조류 및 다른 야생동물의 번식 성공률 감소(Chalfoun et al., 2002; Zanette et al., 2005), 동식물의 분산 분포 변화(Schultz and Crone, 2001; With, 2002; Ness, 2004), 조류종의 성체성공률의 감소(Zanette et al., 2005), 개별종의 서식지 질 저하(Anderson

and Burgin, 2002; Watson et al., 2004), 종구성의 변화(Hill, 1995; Kitahara and Watanabe, 2003; McDonald and Urban, 2006; Broadbent et al., 2008), 잡초 등 침입종의 증가(Lindenmayer and McCarthy, 2001; Yates et al., 2004; McDonald and Urban, 2006), 자생식물의 밀도, 번식, 성장 및 고사율의 변화(Hobbs and Yates, 2003; Lienert and Fischer, 2003; Harper et al., 2005; Broadbent et al., 2008) 등이 있다. 그밖에 패치형태와 크기에 따른 가장자리 영향(Ewers and Didham, 2007) 및 파편화된 경관에서의 다양한 가장자리 효과 연구(Fletcher Jr, 2005), 외부 영향에 따른 가장자리 효과(Delgado García et al., 2007) 등 매우 다양한 분야에서 가장자리 효과 및 영향범위에 대한 연구가 진행되고 있다.

국내에서는 산림성 조류의 가장자리 선호도 분석 연구(최창용 등, 2006)와 산림식생 및 조류종을 대상으로 한 가장자리 영향정도 및 영향범

위 연구(이동근과 김은영, 2009; 이동근 등, 2010)와 같이 가장자리 특성에 대한 연구가 일부 진행되고 있는 실정이다.

3) 침입종 증가

파편화된 산림 가장자리는 외부 영향으로 인해 종구성 및 풍부도에 영향을 받는다. 외래종은 산림가장자리 인접한 곳에서 풍부도가 높게 나타난다(McDonald and Urban, 2006). 이러한 외래종은 종 풍부도와 구성뿐만 아니라 영양관계와 생태계 서비스에 부정적인 영향을 초래한다(Levine et al. 2003; Vilá et al. 2010). 이러한 외래종은 산림가장자리에서 높은 출현율을 보였다(Luken and Goessling, 1995; Yates et al., 2004; Hansen and Clevenger, 2005).

외래종 침입에 대한 연구는 조류종 및 식물 등 침입종의 확산 및 분포 연구가 주를 이루고 있다(With, 2002; With, 2004; Borgmann and Rodewald, 2005; McDonald and Urban, 2006; Chabrerie et al., 2007; Zhu et al., 2007; Cilliers et al., 2008; Crespo-Pérez et al., 2011; Lemke et al., 2011). 외래종의 확산은 산림 가장자리에 가까울수록 파편화가 진행될수록 도시화가 진행될수록 확산정도가 증가하는 것으로 나타났다. 그 밖에 주변 토지 이용과의 관련성 연구(Borgmann and Rodewald, 2005; Pauchard and Alaback, 2006)와 침입종 확산에 따른 위험도 평가 연구(With, 2004; Foxcroft et al., 2007)가 진행되고 있다.

국내 연구의 경우 파편된 산림에서의 침입종 출현 가능성 연구(이동근과 김은영, 2009)와 외래 곤충류 및 양서·파충류의 서식실태 연구(손재천 등, 2002; 오홍식과 홍창의, 2007) 등이 일부 있으나 대부분이 식생현황 분석시 외래종 출현 여부를 조사하는데 그치고 있는 실정이다(오구균 등, 2008; 이수동 등, 2009; 최일기와 이은희, 2008; 임동욱 등, 2009).

IV. 결 론

본 연구에서는 산림파편화의 개념과 그에 따른 영향에 대한 국내외 연구를 검토하였다. 본 연구결과, 산림파편화는 인위적인 요소에 의한 경관변화 과정뿐만 아니라 경관변화로 나타나는 생태학적 변화 과정이라고 정의하였다. 산림파편화 영향에 대한 국외연구는 경관변화 연구뿐만 아니라 생물다양성에 미치는 영향까지 다양한 분야에서 연구가 진행되고 있는 반면 우리나라의 경우 대부분의 연구가 도시화 및 개발사업으로 인한 경관변화 연구가 주를 이루었다. 특히, 산림파편화가 생태계에 미치는 영향인 생물다양성 감소, 가장자리 효과, 침입종 증가에 대한 국내 연구는 일부에서 진행되고 있지만 국외 연구에 비해 매우 미흡한 수준이다.

현재 우리나라는 산림파편화의 주된 원인이 되고 있는 각종 택지개발 및 도로건설 등과 같은 개발사업 이전에 사전환경성검토나 환경영향평가 등을 통해 영향을 예측하고 저감하기 위한 방안을 수립하고 있다. 최근 영향평가지 개발사업으로 인한 주요 정맥, 생태축 등의 훼손을 최소화하고 있지만 파편화가 생물다양성에 미치는 영향 및 개발사업 이후에 나타날 수 있는 외래종 침입 등 종구성의 변화는 평가에 반영되고 있지 않다. 따라서 파편화가 생태계에 미치는 영향을 종합적으로 판단할 수 있도록 해당분야의 연구가 절실한 실정이다.

특히, 2008년 생물다양성협약이 체결된 이후 서식지 보전, 외래종 확산 및 영향 등이 중요한 이슈로 대두됨에 따라 생물다양성과 밀접한 산림파편화 영향연구를 통한 대응이 중요하다. 산림파편화는 서식지 소실, 생물다양성 감소, 가장자리 효과, 침입종 증가 등의 영향을 초래하기 때문이다. 산림파편화 영향에 대한 정량화 연구는 향후 생물다양성 증진에 기초가 될 것이다. 또한, 이러한 정량화된 연구는 영향평가지 산림파편화에 대한 영향을 예측하는데 활용할 수 있으며, 추

가적으로 발생하는 산림파편화 영향에 대한 저감 방안 마련이 필요하다.

인 용 문 헌

- 김명수 · 안동만. 1996. 도시공원의 경관생태학적 분석 -패취의 형태지수와 분산도 분석을 중심으로-. 한국조경학회지 23(4) : 12-19.
- 김명수 · 허학영 · 조수민 · 신수안 · 안동만. 2005. 생태통로 조성 국내외 사례조사를 통한 개선과제 연구. 한국환경복원녹화기술학회지 8(2) : 41-55.
- 김은영. 2010. 개발사업에 따른 산림생태계 영향 평가모형 개발 및 적용. 서울대학교 대학원 박사학위논문.
- 박경훈 · 정성관 · 이현택 · 오정학 · 김경태. 2004. 금호강 유역 산림의 경관생태적 패턴 분석. 한국지리정보학회지 7, 22-34.
- 서응철 · 김영표. 2010. 녹지지수에 따른 산림패치 시계열 분석. 한국산림휴양학회지 14(2) : 93-98.
- 손재천 · 안승락 · 이종은 · 박규택. 2002. 외래종 돼지풀잎벌레(*Ophraella communa* LeSage)의 국내 발생과 분포현황. 한국응용곤충학회지 41(2) : 145-150.
- 오구균 · 김도균 · 김철의. 2008. 북한산 국립공원의 현존식생분포 및 관리. 한국환경생태학회지 22(2) : 83-97.
- 오홍식 · 홍창의. 2007. 제주도에 도입된 황소개구리(*Rana catesbeiana*)와 붉은귀거북(*Trachemys scripta elegans*)의 서식실태 및 관리방안. 한국환경생태학회지 21(4) : 311-317.
- 이동근 · 김은영. 2008. 수도권 내 개발계획관련 요소와 산림파편화 관계분석을 통한 관리방안. 한국조경학회지 35(6) : 37-47.
- 이동근 · 김은영 · 오규식. 2005. 패치크기, 연결성, 가장자리를 고려한 보전가치평가. 한국환경복원녹화기술학회지 8(5) : 56-67.
- 이동근 · 김은영 · 오규식 · 윤소원. 2006. 택지개발사업이 산림에 미치는 시 · 공간적 누적영향 분석. 한국환경복원녹화기술학회지 9(6) : 107-116.
- 이동근 · 이현이 · 김은영. 2007. 개발에 따른 탄천유역의 파편화와 이질성분석. 한국환경복원녹화기술학회지 10(6) : 120-129.
- 이수동 · 이경재 · 최진우. 2009. 서울시 소나무림의 생태적 특성에 따른 관리방안 연구. 한국환경생태학회지 23(3) : 258-271.
- 임동옥 · 김하송 · 박문수. 2009. 전남 북부지역의 귀화식물 분포 및 관리방안. 한국환경생태학회지 23(6) : 506-515.
- 정성관 · 오정학 · 박경훈. 2005. 경관지수를 활용한 낙동강 유역 산림경관의 시계열적 패턴 분석. 한국지리정보학회지 8(2) : 145-156.
- 최일기 · 이은희. 2008. 인간의 영향에 따른 도시 지역 식물종의 분포 패턴 및 특성. 한국환경생태학회지 22(5) : 505-513.
- 최창용 · 남현영 · 허위행 · 이우신 · 김현중 · 황근연. 2006. 온대 활엽수림에 서식하는 산림성 조류의 가장자리 선호도 분석. J. Ecol. Field Biol. 29 : 191-203.
- 허성구 · 김기성 · 안재훈 · 윤정숙 · 임경재 · 최중대 · 신용철 · 유창원. 2007. FRAGSTATS 모형을 이용한 도암댐 유역의 산림 파편화 분석. 한국지리정보학회지 10(1) : 10-21.
- Anderson, L, and S. Burgin. 2002. The influence of woodland remnant edges on small skinks (Richmond, New South Wales). Austral Ecol 27 : 630-637.
- Angold, P.G., Sadler, J.P., Hill, M.O., Pullin, A., Rushton, S., Austin, K., Small, E., Wood, B., Wadsworth, R., Sanderson, R., Thompson, K., 2006. Biodiversity in urban habitat patches. The Science of the total environment 360 : 196-204.
- Baker, J., K. French, and R.J. Whelan. 2002. The

- Edge Effect and Ecotonal Species : Bird Communities across a Natural Edge in Southeastern Australia. *Ecology* 83(11) : 3048-3059.
- Bender, D.J., L. Tischendorf, L. Fahrig. 2003. Using patch isolation metrics to predict animal movement in binary landscapes. *Landscape Ecology* 18 : 17-39.
- Bender, D.J., T.A. Contreras, and L. Fahrig. 1998. Habitat loss and population decline : a meta-analysis movement in binary landscapes. *Ecology* 79 : 517-533.
- Bogaert, J., R. Ceulemans, and D. Salvador-Van Eysenrode. 2004. Decision tree algorithm for detection of spatial processes in landscape transformation. *Environ Manage* 33 : 62-73.
- Bogaert, J., Y.S.S. Barima, L. Lyongo Waya Mongo, I. Bamba, A. Mama, M. Toyi, and R. Laforteza. 2011. Forest Fragmentation : Causes, Ecological Impacts and Implications for Landscape Management. pp. 273-296. *In* : Li, C., Laforteza, R., Chen, J. 2011. Landscape Ecology and Forest Management : Challenges and Solutions in a Changing Globe. HEP-Springer : Heidelberg. Germany.
- Borgmann, K. L., and A. D. Rodewald. 2005. Forest restoration in urbanizing landscapes : interactions between land uses and an exotic shrub. *Restoration Ecology* 13 : 334-340.
- Broadbent, E., G. Asner, M. Keller, D. Knapp, P. Oliveira, and J. Silva. 2008. Forest fragmentation and edge effects from deforestation and selective logging in the Brazilian Amazon. *Biological Conservation* 141(7) : 1745-1757.
- Cayuela, L. 2009. Fragmentation. *In* : Gillespie, R., Clague, D.A. (Eds.), *Encyclopedia of Islands*. University of California Press, Berkeley, CA.
- Cayuela, L., D.J. Golicher, J.M.R.E.Y. Benayas, M. González-Espinoza, and N. Ramírez-Marcial. 2006. Fragmentation, disturbance and tree diversity conservation in tropical montane forests. *Journal of Applied Ecology* 43, 1172-1181.
- Chabrierie, O, F. Roulier, H. Hoeblich, E. Sebert, D. Closset-Kopp, I. Leblanc, J. Jaminon, and G. Decocq. 2007. Defining patch mosaic functional types to predict invasion patterns in a forest landscape. *Ecol Appl* 17 : 464-481.
- Chalfoun, A.D., F.R. Thompson III, and M.J. Ratnaswamy. 2002. Nest predators and fragmentation : a review and meta-analysis. *Conservation Biology* 16 : 306-318.
- Chave, J. and N. Norden. 2007. Changes of species diversity in a simulated fragmented neutral landscape. *Ecological Modelling* 207 : 3-10.
- Cilliers, S.S., N.S.G. Williams, and F.J. Barnard. 2008. Patterns of exotic plant invasions in fragmented urban and rural grasslands across continents. *Landscape Ecology* 23 (10) : 1243-1256.
- Collinge, S.K. 1996. Ecological consequences of habitat fragmentation : implications for landscape architecture and planning. *Landscape and Urban Planning* 36(1) : 59-77.
- Cousins, S.A.O., Ohlson, H., Eriksson, O., 2007. Effects of historical and present fragmentation on plant species diversity in semi-natural grasslands in Swedish rural landscapes. *Landscape Ecology* 22 : 723-730.
- Crespo-Pérez, V., F. Rebaudo, J.-F. Silvain, and O. Dangles. 2011. Modeling invasive species

- spread in complex landscapes : the case of potato moth in Ecuador. *Landscape Ecology* 26 (10) : 1447-1461.
- Croci, S., Butet, A., Georges, A., Aguejidad, R., Clergeau, P., 2008. Small urban woodlands as biodiversity conservation hot-spot : a multi-taxon approach. *Landscape Ecology* 23 : 1171-1186.
- Davidson, C. 1998. Issues in measuring landscape fragmentation. *Wildlife Society Bulletin* 26 : 32-37.
- De Santo, R.S., D.G. Smith. 1993. Environmental auditing : an Introduction to issues of habitat fragmentation relative to transportation corridors with special reference to high-speed rail (HSR). *Environmental Management* 17 : 111-114.
- Delgado García, J.D., J. R. Arévalo, and J. M. Fernández-Palacios. 2007. Road edge effect on the abundance of the lizard *Gallotia galloti* (Sauria : Lacertidae) in two Canary Islands forests. *Biodiversity and Conservation* 16 (10) : 2949-2963.
- DiBari, J.N., 2007. Evaluation of five landscape-level metrics for measuring the effects of urbanization on landscape structure : the case of Tucson, Arizona, USA. *Landscape and Urban Planning* 79 : 308-313.
- Dorner, B., K. Lertzman, and J. Fall, 2002. Landscape pattern in topographically complex landscapes : issues and techniques for analysis. *Landscape Ecology* 17 : 729-743.
- Ewers, R.M., and R.K. Didham. 2007. The effect of fragment shape and species' sensitivity to habitat edges on animal population size. *Conserv Biol* 21(4) : 926-936.
- Fahrig, L., 2003. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 34 : 487-515.
- Ferraz, G., J.D. Nichols, J.E. Hines, P.C. Stouffer, R.O. Bierregaard Jr., and T.E. Lovejoy. 2007. A large-scale deforestation experiment : effects of patch area and isolation on Amazon birds. *Science* 315 : 238-241.
- Forman, R.T.T. 1995. *Land Mosaics : The ecology of landscape and regions*. New York : Cambridge University Press.
- Forman, R.T.T. and M. Godron. 1986. *Landscape ecology*. New York : John Wiley & Sons.
- Foxcroft, L.C., M. Rouget, and D.M. Richardson. 2007. Risk assessment of riparian plant invasions into protected areas. *Conserv Biol* 21(2) : 412-421.
- Franklin, A.B., B.R. Noon and T.L. George. 2002. What is habitat fragmentation? *Studies in Avian Biology* 25 : 20-29.
- Franklin, S.E. 2001. *Remote sensing for sustainable forest management*. Boca Raton, FL : Lewis Publishers.
- Goodwin, B.J. and L. Fahrig. 2002. Effect of landscape structure on the movement behaviour of a specialized goldenrod beetle, *Trirhabda borealis*. *Can. J. Zool.* 80 : 25-34.
- Groom, M.J., and N. Schumaker. 1993. Evaluating landscape change : patterns of worldwide deforestation and local fragmentation. pp. 24-44. *In* : P. M. Kareiva, J. G. Kingsolver, and R. B. Huey, editors. *Biotic interactions and global change*, Sinauer Associates, Sunderland, Massachusetts, USA.
- Haila, Y. 2002. A conceptual genealogy of fragmentation research : from island biogeography to landscape ecology. *Ecological Applications* 12 : 321-334.
- Haila, Y., 1999. Islands and fragments. *In* : Hunter, M.L. (Ed.), *Maintaining Biodiversity*

- in Forest Ecosystems. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 234-264.
- Hansen, M.J. and A.P. Clevenger. 2005. The influence of disturbance and habitat on the presence of non-native plant species along transport corridors. *Biological Conservation* 125 : 249-259.
- Harper, K.A., S.E. Macdonald, P.J. Burton, J. Chen, K. Brosfokske, S. Saunders, E. Euskirchen, D. Roberts, M. Jaiteh, and P.-A. Esseen. 2005. Edge influence on forest structure and composition in fragmented landscape. *Conserv Biol* 19 : 768-782.
- Harris, L.D., 1984. *The Fragmented Forest : Island Biogeography Theory and the Preservation of Biotic Diversity*. University of Chicago Press, Chicago.
- Herold, M., H. Couclelis, and K. Clarke. 2005. The role of spatial metrics in the analysis and modeling of urban land use change. *Computers, Environment and Urban Systems* 29 : 369-399.
- Heywood, V. and R. Watson. (eds) 1995. *Global Biodiversity Assessment*. UNEP, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hill, C.J. 1995. Linear strips of rain forest vegetation as potential dispersal corridors for rain forest insects. *Conserv. Biol.* 9 : 1559-1566.
- Hobbs, R.J. and C.J. Yates. 2003. Impacts of ecosystem fragmentation on plant population : generalising the idiosyncratic. *Australian Journal of Botany* 51 : 471-488.
- Honnay, O., H. Jacquemyn, B. Bossuyt, and M. Hermy. 2005. Forest fragmentation effects on patch occupancy and population viability of herbaceous plant species. *The New phytologist* 166 : 723-736.
- Irwin, E.G. and N.E. Bockstael. 2007. The evolution of urban sprawl : evidence of spatial heterogeneity and increasing land fragmentation. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104 : 20672-20677.
- Jaeger, J.A.G. 2000. Landscape division, splitting index, and effective mesh size : New measures of landscape fragmentation. *Landscape Ecology* 15 : 115-130.
- Kitahara, M. and M. Watanabe. 2003. Diversity and rarity hotspots and conservation of butterfly communities in and around the Aokigahara woodland of Mount Fuji, central Japan. *Ecological Research* 18(5) : 503-522.
- Kolbe, J. J. and F. J. Janzen. 2002b. Spatial and temporal dynamics of turtle nest predation : edge effects. *Oikos* 99 : 538-544.
- Krebs C.J. 1994. *Ecology : The Experimental Analysis of Distribution and Abundance*. 4th edn. Harper Collins College Publications, New York.
- Lahti, D.C. 2001. The 'edge effect on nest predation' hypothesis after twenty years. *Biological Conservation* 99 : 365-374.
- Lande, R. 1988. Genetics and demography in biological conservation. *Science* 241 : 1455-1460.
- Laurence, W.F., T.E. Lovejoy, H.L. Vasconcelos, E.M. Bruna, R.K. Didham, P.C. Stouffer, C. Gascon, R.O. Bierregaard, S.G. Laurance and E. Sampaio. 2002. Ecosystem decay of Amazonian forest fragments : A 22-year investigation. *Conservation Biology* 16 : 605-618.
- Lee, D., E. Kim, J. Choi, and K. Oh. 2010. The effects of development on forest-patch characteristics and bird diversity in Suji,

- South Korea. *Landscape Ecol Eng* 6 : 171-179.
- Lemke, D., P. E. Hulme, J. A. Brown, and W. Tadesse. 2011. Distribution modelling of Japanese honeysuckle (*Lonicera japonica*) invasion in the Cumberland Plateau and Mountain Region, USA. *Forest Ecology and Management* 262(2) : 139-149.
- Lennon, J.J., J.R.G. Turner, and D. Connell. 1997. A metapopulation model of speices boundaries. *Oikos* 78 : 486-502.
- Levine, J.M., M. Vilá, C.M. D'Antonio, J.S. Dukes, K. Grigulis, S. Lavorel. 2003. Mechanisms underlying the impact of exotic plant invasions. *Proc R Soc B Biol* 270 : 775-781.
- Lienert, J. and M. Fischer. 2003. Habitat fragmentation affects the common wetland specialist *Primula farinosa* in north-east Switzerland. *J. Ecol.* 91 : 587-599.
- Lindenmayer, D.B. and M.A. McCarthy. 2001. The spatial distribution of non-native plant invaders in a pine-eucalypt landscape mosaic in south-eastern Australia. *Biol Conserv* 102 : 77-87.
- Lindenmayer, D.B., J. Fischer. 2006. *Habitat Fragmentation and Landscape Change : An Ecological and Conservation Synthesis*. Washington : ISLAND PRESS.
- Lindenmayer, D.B., R.B. Cunningham and R.B. Donnelly. 1997. Decay and collapse of trees with hollows in eastern Australian forests : impacts on arboreal marsupials. *Eco. Appl.* 7 : 625-641
- Lord, J. and D. Norton. 1990. Scale and the spatial concept of fragmentation. *Conservation Biology* 4(2) : 197-202.
- Lovejoy, T.E., J.M. Rankin, R.O. Bierregaard, K.S. Brown, L.H. Emmons, M.E. Van der Voort. 1984. Ecosystem decay of Amazon forest fragments. *In* : Nitecki, M.H. (Ed.), *Extinctions*. University of Chicago Press, Chicago, pp. 295-325.
- Lovejoy, T.E., R.O. Bierregaard, A.B. Rylands, J.R. Malcolm, C. Quintela, L. Harper, K. Brown, A. Powell, G. Powell, H. Schubart, and M. Hays. 1986. Edge and other effects of isolation on Amazon forest fragments. *In* : Soulé, M.E. (Ed.), *Conservation Biology : The Science of Scarcity and Diversity*. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, pp. 257-285.
- Luken, J.O. and N. Goessling. 1995. Seedling distribution and potential persistence of the exotic shrub *Lonicera maackii* in fragmented forests. *American Midland Naturalist* 133 : 124-130.
- Lussier, S.M., R.W. Enser, S.N. Dasilva, and M. Charpentier. 2006. Effects of habitat disturbance from residential development on breeding bird communities in riparian corridors. *Environmental management* 38 : 504-521.
- Matlack, G.R. 1993. Microenvironment variation within and among forest edge sites in the Eastern United States. *Biological Conservation* 66 : 185-194.
- Matlack, G.R. and Litvaitis J.A. 1999 : Forest edges. *In* Hunter M.L. Jr. (ed.) : *Maintaining Biodiversity in Forest Ecosystems*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom, pp. 210-233.
- McDonald, R.I., and D.L. Urban. 2006. Edge Effects on Species Composition and Exotic Species Abundance in the North Carolina Piedmont. *Biological Invasions* 8(5) : 1049-

- 1060.
- McGarigal K. and B. Marks. 1995. FRAGSTATS : Spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351. USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland, Oregon, USA.
- McGarigal, K. 2002. Landscape pattern metrics. Encyclopedia of environmetrics, Volume 2 (ed. by A.H. El-Shaarawi and W.W. Piegorisch) Chichester : John Wiley & Sons. pp. 1135-1142.
- Michalski, F. and C.A. Peres. 2007. Disturbance-mediated mammal persistence and abundance-area relationships in Amazonian forest fragments. Conservation biology : the journal of the Society for Conservation Biology 21 : 1626-1640.
- Ness, J.H. 2004. Forest edges and fire ants alter the seed shadow of an ant-dispersed plant. Oecologia 138 : 448-454.
- Pardini, R., 2004. Effects of forest fragmentation on small mammals in an Atlantic Forest landscape. Biodiversity and Conservation 13 : 2567-2586.
- Pauchard, A., and P.B. Alaback. 2006. Edge type defines alien plant species invasions along *Pinus contorta* burned, highway and clearcut forest edges. Forest Ecology and Management 223 : 327-335.
- Poulin, J.-F., and M.-A. Villard. 2011. Edge effect and matrix influence on the nest survival of an old forest specialist, the Brown Creeper (*Certhia americana*). Landscape Ecology 26(7) : 911-922.
- Ratti, J.T. and K.P. Reese. 1988. Preliminary tests for the ecological trap hypothesis. Journal of Wildlife Management 52 : 484-491.
- Reed, R.A., J. Johnson-Barnard, and W.L. Baker. 1996. Fragmentation of a forested Rocky Mountain landscape, 1950-1993. Biological Conservation 75 : 267-277.
- Roberts, W.B. 1973. Air movements within a plantation and an open area and their effects on fire behavior. Australian Forest Research 4 : 41-47.
- Saunders, D.A., R.J. Hobbs, and C.R. Margules. 1991. Biological consequences of ecosystem fragmentation : a review. Conserv Biol 5 (1) : 18-32.
- Schultz, C.B. and E.E. Crone. 2001. Edge-mediated dispersal behavior in a prairie butterfly. Ecology 82 : 1879-1892.
- Shaffer, M.L. 1981. Minimum population sizes for species conservation. Bioscience 31 : 131-134.
- Tscharntke, T. and R. Brandl. 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. Annual review of entomology 49 : 405-430.
- Turner, M.G. 1989. Landscape ecology : the effect of pattern on process. Annual Review of Ecological Systems 20 : 171-197.
- Turner, M.G., S.M. Pearson, P. Bolstad, and D.N. Wear. 2003. Effects of land-cover change on spatial pattern of forest communities in the Southern Appalachian Mountains (USA). Landscape Ecology 18 : 449-464.
- Urban, D.L., R.V. O'Neill and H.H. Shugart. 1987. Landscape ecology. BioScience 37 : 119-127.
- Vilá, M, C. Basnou, P. Pyšek, M. Josefsson, P. Genovesi, S. Gollasch, W. Nentwig, S. Olenin, A. Roques, D. Roy, P. Hulme, and DAISIE partners. 2010. How well do we understand the impacts of alien species on ecosystem services? A pan European cross-

- taxa assessment. *Front Ecol Environ* 8 : 135-144.
- Watson, J.E.M., R.J. Whittaker, and T.P. Dawson. 2004. Habitat structure and proximity to forest edge affect the abundance and distribution of forest dependent birds in tropical coastal forests of southeastern Madagascar. *Biol. Conserv.* 120 : 311-327.
- Weins, J.A. 1989. Spatial scaling in ecology. *Functional Ecology* 3 : 385-397.
- Wilcove, D.S., C.H. McLellen, and A.P. Dobson. 1986. Habitat fragmentation in the temperate zone. pp. 237-256. *In* : Conservation Biology : The Science of Scarcity and Diversity. M.E. Soulé, ed. Sinauer, Sunderland.
- With, K.A. 2002. The landscape ecology of invasive spread. *Conservation Biology* 16 : 1192-1203.
- With, K.A. 2004. Assessing the risk of invasive spread in fragmented landscapes. *Risk Analysis* 24(4) : 803-815.
- Yaacobi, G., Y. Ziv, and M.L. Rosenzweig. 2007. Effects of interactive scale-dependent variables on beetle diversity patterns in a semi-arid agricultural landscape. *Landscape Ecology* 22 : 687-703.
- Yates, E.D., D.F. Levia, and C.L. Williams. 2004. Recruitment of three non-native invasive plants into a fragmented forest in southern Illinois. *Forest Ecol Manag* 190 : 119-130.
- Young, A.G., and G.M. Clarke. 2000. Genetics, demography and viability of fragmented. *Populations conservation biology* 4. Cambridge : Cambridge University Press.
- Young, A.G., T. Boyle, and T. Brown. 1996. The population genetic consequences of habitat fragmentation for plants. *Trends in Ecology and Evolution* 11 : 413-418.
- Zanette, L, E. MacDougall-Shakleton, M. Clinchy, and J.N.M. Smith. 2005. Brown-headed cowbirds skew host offspring sex ratios. *Ecology* 86 : 815-820.
- Zhu, L., O.J. Sun, W. Sang, Z. Li, and K. Ma. 2007. Predicting the spatial distribution of an invasive plant species (*Eupatorium adenophorum*) in China. *Landscape Ecology* 22(8) : 1143-1154.