도시개발의 경관생태적 성능 평가를 위한 경관생태관리시스템(LEMS) 구축에 관한 연구*

오규식 · 이동우

한양대학교 도시공학과

The Landscape Ecological Management System (LEMS) for Assessing the Landscape Ecological Performance of Urban Developments*

Oh, Kyushik and Lee, Dongwoo

Department of Urban Planning, Hanyang University.

ABSTRACT

Studies on landscape ecology have focused on conceptual aspects, while empirical focus for spatial planning has been rarely conducted. This study conducted an empirical analysis to enhance landscape ecological performance of urban developments using landscape ecology. To do so, concrete criteria and standards to analyze structural, functional and variational mechanisms of urban landscape ecology were developed. An integrated landscape ecology assessment model that can be applied to urban development planning was established by combining the criteria. Next, Landscape Ecological Management System (LEMS) was developed to implement an integrated assessment using GIS. To verify the effectiveness of the system, a case study was conducted using LEMS on Byulnae City in the Seoul Metropolitan Area.

The LEMS can be useful for urban planners and policy makers in their selection of desirable planning alternatives. Moreover, the LEMS developed in this study can be a useful tool for academia

* 이 논문은 2012년 한양대학교 교내연구비 지원으로 연구되었음(HY-201200000000286).

First author : Oh kyushik, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea,
Tel : +82-2-2220-0336, E-mail : ksoh@hanyang.ac.kr

Corresponding author : Lee, Dongwoo, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul 133-791, Korea,
Tel : +82-2-2298-5410, E-mail : estevan97@hanyang.ac.kr

Received : 29 May, 2012. **Revised** : 23 July, 2012. **Accepted** : 20 September, 2012.

in terms of the implementation of further related studies, and for planning professionals in their environmental impact assessment tasks.

Key Words : *Landscape Ecology, Urban development, Integrated Assessment, GIS.*

I. 서 론

1. 연구의 배경 및 목적

우리 국토·도시환경의 단절과 파편화는 생물종 다양성의 감소, 대기, 에너지, 물, 토양 등의 흐름과 순환에 부정적인 영향을 초래한다. 이는 경관생태 본연의 질과 성능을 저하시키는 주요인이 되고 있다. 이 같은 문제의 해결은 인간과 자연생태환경을 포괄하여 다루는 경관생태학적 관점에 의해 이루어질 수 있다. 즉 경관생태의 현재 가치를 과학적 방법에 의해 평가하고 파편화에 의해 훼손된 공간을 구체적으로 규명함으로써 경관생태의 질적 가치 향상을 위한 방안을 마련할 수 있다. 실제 경관생태학은 도시, 조경 등의 공간을 다루는 다양한 분야에서 적용되고 있다(이도원, 2001).

그러나 계획 수립시 공원·녹지가 지나치게 시설적 요소로 다루어져 생태계를 보전하기 위한 기능이 심도 있게 고려되지 못하고 있다. 우리나라의 「도시공원 및 녹지 등에 관한 법률」에서도 서식종의 안정적인 서식을 위한 공원·녹지의 구조 보다는 녹지의 총량에 중점을 두고 있으며 생태적 성능을 제고하기 위한 구체적인 방법이 제시되지 못하고 있다. 이는 도시계획에 경관생태를 적용하기 위한 평가지표가 선정되지 못하고 효과적인 평가방법이 개발되지 못했기 때문이다.

본 연구의 목적은 도시계획에 실제로 적용 가능한 경관생태평가체계를 개발하고 평가지표 및 방법론의 효과적인 도입을 위한 경관생태관리시스템(Landscape Ecological Management System, 이하 LEMS)을 구축하는 것이다. 이를 위해 문헌연구 및 이론고찰을 통해 도시계획에 적용 가능한 유력한 경관생태평가지표를 선정하

고 평가체계를 구축하였다. 다음으로 경관생태평가를 수행하기 위한 GIS기반의 LEMS를 구축하고 사례연구를 통해 시스템의 적용가능성을 검증하였다.

2. 관련연구 동향 및 시사점

1960년대 유럽에서 Neef(1963)와 Troll(1968)에 의해 창시된 경관생태학은 경관에서의 생태적 문제를 해결함에 있어 유용하게 활용되고 있다. 특히 경관생태학은 GIS분석기법의 발전과 함께 생태학에서 그 활용도가 지속적으로 증가하고 있다(오규식 외, 2009). 일반적으로 경관생태학과 관련된 연구에서는 경관을 구조, 기능, 변화로 구분하고 이와 관련한 다양한 연구를 수행하고 있다(이도원, 2001).

초기의 경관생태평가 연구는 경관생태평가 지표를 개발하고 이를 도시 또는 광역적 공간에 적용하여 경관생태 현황을 분석하는 것에 중점을 두었다(Schonewald-Cox, 1983; Forman and Godron, 1986; Forman, 1995; 조용현, 2000; Singelton et al., 2002; 김대현 외, 2002; 오정학 외, 2007). 최근에는 경관생태 평가지표를 적용한 도시·광역생태네트워크 구축 관한 연구(Cook, 2002; Adriaensen et al., 2003; 사공정희·나정화, 2005; Zhang and Wang, 2006; 이동근 외, 2008; 오규식 외 2009), 토지이용/피복 변화에 따른 경관지표의 변화를 분석한 연구(이동근·김은영, 2008; 이상현·오규식, 2010; 김희주 외, 2011) 등이 이루어지고 있다.

한편, 경관생태를 평가하기 위한 시스템이 국외에서 소수 개발되었다. 가장 대표적인 프로그램인 FRAGSTATS는 면적지수, 밀도지수, 가장자리지수, 파편화지수, 형태지수와 같은 다양한

경관생태평가 지표를 비교적 쉽게 정량화할 수 있어 경관생태학과 관련된 연구에서 주로 활용되고 있다. 또한, 미국 Clark Lab에서 개발된 Land Change Modeler(LCM)는 토지이용의 변화를 예측하는 대표적인 프로그램으로, 부가기능인 서식처의 범위, 규모, 연결성과 같은 경관생태평가지표를 일부 포함하고 있다. LCM은 경관지표의 시계열적 변화를 평가하기 위한 연구에서 주로 활용되고 있다. 이 외에도 Reynolds(2002)는 경관생태평가를 적용하여 산림 복원지역을 선정하기 위한 Ecosystem Management Decisions Support (EMDS)를 개발하였으며, Turner(1990)은 대상지의 경관 이질성(Landscape heterogeneity)을 분석하기 위한 raster데이터 기반의 SPatial ANalysis Program(SPAN)을 개발한 바 있다. 이상의 선행연구 고찰을 통해 다음과 같은 시사점이 도출될 수 있다.

첫째, 경관생태학과 관련된 연구는 지표의 개발, 평가모델의 수립 등 다양한 측면에서 시도되어 응용단계에 이르고 있으나 도시계획 수립을 위해 구체적으로 적용된 사례는 미흡하다(Termorshuizen and Opdam, 2009; Wu and Hobbs, 2002). 또한 상호 연관관계를 맺고 있는 경관생태평가지표에 대한 통합적 분석기법의 부재로 도시계획 수립을 위한 구체적이고도 실용성 있는 결과 도출에 어려움을 보이고 있다.

둘째, 국외 중심으로 경관생태를 평가하기 위한 프로그램이 개발되었으나 대표적 프로그램인 FRAGSTATS은 ArcGIS나 IDRISI와 같은 GIS프로그램과의 연동을 통해서만 실질적인 구현이 가능하며, 프로그램의 주목적을 경관생태분석에 초점을 두고 있어 도시공간계획에 직접적으로 접목하기 어려운 한계가 있다. 또한 LCM의 경우 토지이용변화를 고려하고 있으나 주목적이 토지이용변화 예측에 있기 때문에 다양한 경관생태평가지표의 구현이 미흡하며, 광역적 공간을 분석대상으로 하고 있어 다양한 도시계획에 적용이 제한된다. 따라서 본 연구는 도시계획을 수립함에 있어 실용성을 확보할 수 있는 평가지표를 도출하고 시스템을 구축하였다.

II. 평가방법

1. 평가지표의 선정 및 적용

본 연구는 도시계획에 적용 가능한 경관생태적 성능평가에 주안점을 두고 있다. 평가지표 선정을 위해 문헌고찰을 통해 경관생태학에서 중요한 지표를 도출하고 도시계획으로의 적용 가능성을 검토하였다. 이를 위해 최근 국내·외 학술지에 게재된 논문에서 활용한 주요 지표를 우선적으로 채택하였다¹⁾.

도시지역에서 경관조각의 변화는 인간에 의한

1) 지표선정을 위해 고찰한 경관생태관련 선행연구.

연도	저자, 출처	연구내용	지표
2011	오규식 외, 환경영향평가 20(6)	경관생태지표를 이용하여 수도권개발제한구역의 보전가치를 평가	구조(면적, 형태), 기능(연결성), 변화(종 분포)
2010	Kong et al., Landscape and Urban Planning 95	경관생태평가 지표와 연결성 평가방법을 적용하여 도시생태네트워크 구축방법을 제시	구조(면적, 형태), 기능(밀도, 유클리디안 거리, 연결성)
2009	김희주 외, 환경복원녹화 14(3)	공간자기상관분석을 이용하여 도시화에 따른 경관의 분산특성을 분석	구조(면적, 형태), 기능(유클리디안 거리, 분산)
2007	Morteberg et al., Journal of Environmental Management 82	경관조각의 분산(파편화), 연결성 분석을 통해 종 다양성을 분석하여 생태적 가치를 평가	기능(분산, 연결성), 변화(종 다양성)
2007	이동근 외, 환경복원녹화 11(3)	경관투과성 및 최소비용경로 분석을 통한 생태네트워크 구축방법 제시	구조(면적), 기능(연결성)

영향과 자연과정에 의한 결과로 야기된다. 일반적으로 도시개발은 경관조각 수를 증가시키는 반면 자연환경자원이 풍부한 경관조각의 수를 감소시킨다. 또한 경관조각의 밀도와 규칙성은 증가시키고 크기 및 변형가능성을 감소시켜 네트워크 수는 증가하지만 네트워크간의 강도는 약해진다

(Forman and Godron, 1986). 이러한 경관조각의 변화는 경관조각이 갖고 있는 자연성을 변화시키고, 기존 서식종의 분포와 출현 빈도의 변화를 야기한다(Turner, Gadner and O'neil, 2001). 따라서 경관조각의 면적 및 형태(구조), 공간에서의 상호작용(기능)과 서식종의 종류 및 개체수, 경관의

연도	저자, 출처	연구내용	지표
2007	Olsen et al., Landscape and Urban Planning 78	산림도와 토지피복도를 이용하여 토지이용 변화에 따른 경관생태지표의 변화를 연구	구조(경관조각 수, 평균면적, 가장자리둘레, 형태, 중심지수), 기능(유클리디안 거리, 응집성)
2006	Zhang and Wang Landscape and Urban Planning 79	경관메트릭스를 적용하여 도시공간의 보전지역 평가	구조(평균면적, 형태지수), 기능(연결성, 밀도, 유클리디언거리), 변화(종 다양성, 종 풍부도)
2006	사공정희, 나정화, 한국조경학회지 34(4)	녹지들 상호간의 연계성에 있어서 구심점 역할을 수행할 수 있는 주요 녹지를 선정하고, 이들을 중심으로 사례지에 적합한 녹지연계망 조성방법 제시	구조(면적), 기능(연결성)
2005	Turner, Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematic	경관변화의 과정과 패턴을 이해함에 있어 주로 적용되는 경관생태지표를 제시하고 과학적 학문으로서의 경관생태학의 과제를 제시	구조(경관조각 수, 형태, 가장자리 밀도), 기능(분산, 밀도)
2005	Reynolds and Hessburg, Forest Ecology and Management 207	경관의 복원계획 수립을 위한 경관평가체계 수립 및 적용	구조(면적, 내부면적, 평균면적, 가장자리)기능(평균거리), 변화(종 풍부도)
2005	이동근 외, 한국조경학회지 32(6)	경관조각의 크기, 주변 녹지와 연결성, 물리적 환경측면에서의 경사지표를 적용하여 보전가치를 평가	구조(면적), 기능(연결성)
2005	이동근 외, 환경복원녹화 8(5)	도시지역을 대상으로 패치크기, 연결성, 가장자리지표를 이용하여 보전가치 평가	구조(면적, 가장자리), 기능(연결성)
2004	Lienert, Journal for Nature Conservation 12	서식지 파편화에 따른 경관조각의 잠재적인 효과 분석 및 대안 제시	구조(면적, 둘레길이), 변화(종 풍부도)
2003	안동만, 김명수, 한국조경학회지 31(1)	녹지간의 생태적 연결성을 평가하고 연결성 증진을 위한 녹지 조성방안 제시	구조(면적), 기능(연결성)
2002	Cook, Landscape and Urban Planning 58	경관생태지표를 적용하여 도시생태네트워크의 적정성을 경관구조, 연결성 측면에서 평가	구조(면적, 둘레, 형태), 기능(연결성, 고립도, 연계망 수), 변화(식생의 자연성)
2002	Hwakins and Selman, Landscape and Urban Planning 60	경관생태지표를 적용한 토지이용 계획의 생태적 적정성을 평가	구조(면적, 형태), 기능(연결성), 변화(종 다양성)
2001	김훈희, 이진희, 국토계획 36(5)	토지이용의 변화가 녹지환경에 미치는 영향을 생태적 구조변화와 경관생태지표를 이용하여 민감지역을 도출	구조(면적, 가장자리, 형태), 기능(밀도), 변화(패치변이)
2000	조용현, 환경영향평가 9(4)	경관생태학적 관점에서 지역생태계의 현황을 해석하고 분석하기 위한 경관생태지표의 활용 가능성 검토	구조(면적, 가장자리, 형태), 기능(근접성, 밀도), 변화(패치변이, 서식지 다양성)
1996	김명수, 안동만, 한국조경학회지 31(1)	도시녹지의 연결성 평가방법을 제시하고 연결성 증진을 위한 도시녹지의 입지선정 방법 제시	구조(면적, 주변부 길이, 형태), 기능(연결성, 분산도)
1995	Forman, Landscape Ecology 10(3)	지역차원에서 경관생태지표를 적용하기 위한 주요 원칙 제시	구조(면적, 형태), 기능(연결성, 저항도, 분산 : 파편화), 변화(종 다양성)

표 1. 도시계획과 관련된 제도에서 제시된 경관생태관련 내용(구조, 기능, 변화와 관련이 있는 요소를 중심으로 추출함).

구분	경관생태관련 주요 내용
<div data-bbox="256 772 327 952">국토의 이용 및 계획에 관한 법률</div> <div data-bbox="327 488 379 1238"> <div data-bbox="343 526 367 840">광역도시계획 / 도시기본계획</div> <div data-bbox="343 996 367 1153">도시관리계획</div> </div>	<div data-bbox="391 504 1339 873"> <ul style="list-style-type: none"> • 구조 <ul style="list-style-type: none"> - 1인당 조성공원면적, 도시전체의 공원·녹지비율 등 목표년도의 공원·녹지지표 제시 • 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 도시개발촉진, 기존 공원녹지 및 주변 환경과 연계한 녹지체계 구상 - 도시의 외곽지역과 연계한 지역거점 공원의 효율화 - 도시권 전체 녹지를 활용하여 환상(環狀) 녹지체계(green-network)구상 - 공원·녹지체계는 선(線)과 면(面)의 조화(기능) - 녹지체계가 단절된 곳은 복원하고 선형녹지축 등을 조성하는 등 녹색접근도 제고 • 변화 <ul style="list-style-type: none"> - 훼손된 녹지 회복과 생태계 복구 전략 추진, 다양한 여가공간을 개발할 수 있는 방안 마련 - 자연적 환경을 보전하거나 향상시키기 위해 필요한 지역에는 토지이용현황을 고려하여 경관녹지 계획을 수립 </div> <div data-bbox="391 884 1339 1220"> <ul style="list-style-type: none"> • 구조 <ul style="list-style-type: none"> - 공원의 경계는 식별이 명확한 지형·지물을 이용 하거나 주변의 토지이용과 구별되는 위치에 계획 - 공원의 경계가 요철이 되어 공원의 기능이 저하되거나 불합리한 구역이 되지 않도록 경계선을 조정 - 녹지의 경계는 식별이 명확한 지형·지물을 이용하거나 주변의 토지이용과 구별되도록 계획 - 공원면적 : 주민 1인당 6m² 이상 - 주거지역·상업지역·공업지역에서의 공원 및 녹지면적 : 주민 1인당 3m² 이상 • 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 공원간의 상호 보완적 역할을 발휘하도록 기능 설정 - 완충녹지, 경관녹지, 연결녹지의 입지기준 적용 </div>
<div data-bbox="256 1377 327 1444">도시 개발법</div>	<div data-bbox="391 1243 1339 1579"> <ul style="list-style-type: none"> • 구조 <ul style="list-style-type: none"> - 공원의 경계는 식별이 명확한 지형·지물을 이용 하거나 주변의 토지이용과 구별되는 위치에 계획 - 공원면적기준 : 1만m²~30만m² : 상주인구 1인당 3m² 또는 개발면적의 5% 이상, 130만m²~100만m² 미만 : 상주인구 1인당 6m² 이상 또는 개발면적의 9% 이상, 1,100만m² 이상 : 상주인구 1인당 9m² 이상 또는 개발면적의 12% 이상 • 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 공원간의 상호 보완적 역할을 발휘하도록 기능 설정 • 변화 <ul style="list-style-type: none"> - 경관계획은 개발사업의 경관영향요인을 추출하고 영향을 예측한 다음 저감방안 및 사후관리계획을 포함 - 경관계획의 수립을 위하여 자연·인문·시각적 측면의 현황조사 실시 </div>
<div data-bbox="256 1691 327 1825">도시 재정비 촉진 특별법</div>	<div data-bbox="391 1601 1339 1904"> <ul style="list-style-type: none"> • 구조 <ul style="list-style-type: none"> - 공원, 녹지는 전체 구역면적의 5% 또는 세대당 3m² 이상 - 기존공원 및 기존녹지의 총면적이 전체지구의 5% 또는 세대 당 3m² 이상의 경우 위원회의 자문을 거쳐 전체 구역면적의 5% 또는 세대 당 2m² 공급 완화 • 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 공원, 녹지체계는 촉진지구 및 그 인접지역에 입지한 기존 도시공원, 녹지공간, 광역적 녹지체계와 촉진구역별 녹지체계 등이 상호연계 되도록 계획 - 공원계획은 생활권별 접근성, 보행자도로체계 등을 고려하여 공원유형별로 적정 배치 - 공원·녹지체계는 선(線)과 면(面)의 조화 - 보전필요성 있는 생물서식공간은 보전을 원칙으로 하되 가급적 공원녹지와 연결되도록 함 </div>

표 1. 계속

구분	경관생태관련 주요 내용
택지 개발 촉진법	<ul style="list-style-type: none"> • 구조 <ul style="list-style-type: none"> - 사전환경성 검토결과 녹지보전의 필요성이 없는 토지를 대상으로 개발사업 시행 - 양호한 수림, 실개천 등 보존가치가 있는 자연환경요소 보존 - 각종 곤충이나 조류 등의 접근을 유도하는 유실수와 화목류의 식재 - 공원면적기준 : 10만m^2~30만m^2 : 상주인구 1인당 6m^2 또는 개발면적의 12% 이상, 30만m^2~100만m^2 : 상주인구 1인당 7m^2 이상 또는 개발면적의 15% 이상, 100만m^2~330만m^2 : 상주인구 1인당 9m^2 이상 또는 개발면적의 18% 이상, 330만m^2 이상 : 상주인구 1인당 12m^2 이상 또는 개발면적의 20% 이상 • 기능 <ul style="list-style-type: none"> - 수변공간을 활용한 친수공간의 창출 및 다양하고 체계적인 녹지계획으로 인간과 생물이 공존할 수 있는 환경친화적인 주거환경 조성 - 녹지공간을 최대한 확보하여 택지조성으로 인한 유출계수 증가를 최소화

자연성(변화)은 생태계 시스템을 분석할 수 있는 기초적이고 핵심적 지표로 활용 가능하며(Wu and Hobbs, 2002; Turner, Gadner and O'neil, 2001) 실제 다양한 연구에서 적용되고 있다.

한편, 도시계획과정에서의 적용 가능성을 고려하기 위해 현행 도시계획관련 제도에서 다루어지고 있는 경관생태학적 요소들을 고찰하였다(표 1). 지속가능한 개발이 강조됨에 따라 최근 도시계획에서도 자연환경을 보전하기 위한 규정이 다수 제시되고 있다. '구조' 항목에서는 목표년도에 대한 공원·녹지지표를 제시하여 거주민을 위한 녹지를 확보하고 보전가치가 높은 자연환경을 보전하도록 하고 있다. 한편, 경관의 '기능' 측면에서는 전체녹지를 활용한 녹지체계 구상, 단절된 녹지의 복원, 생물서식공간의 안정성 확보를 위한 생태축의 조성 등이 강조하고 있다. 또한, '변화' 측면에서는 개발 후 자연환경이 유지되기 위한 모니터링의 중요성을 강조하고 있다. 이상의 경관생태학 관련 이론과 선행연구를 토대로 경관생태학에서 유력하게 거론되는 지표 중 도시계획과정에서의 실용성을 감안하여 (표 2)와 같은 지표군을 선정하였다.

구조항목에서는 면적과 형태를 선정하였다. 면적과 형태는 경관조각의 특성을 설명하는 가장 중요한 지표로 경관구조 분석에 있어 사용 빈도

또한 높다(김희주 외, 2011; 이동근 외, 2005). 특히 도시계획은 기존 경관조각의 면적과 형태를 변화시키기 때문에 면적과 형태지표는 도시계획 차원에서도 매우 중요하다. 면적은 서식공간의 안정성과 종 다양성에 직접적인 영향을 주고, 각종 개발에 따른 영향을 직관적으로 판단할 수 있게 한다(김희주 외, 2011; 이동근 외, 2005; Cook, 2002; Turner etc., 2001). 또한, 경관의 형태는 생물지리학적 측면에서 종 분포의 안정성, 확장과 축소, 주변 매트릭스와의 상호작용을 파악하기 위한 중요한 지표이다(김희주 외, 2011; 이동근 외, 2005; Collinge, 1996; Forman and Godron, 1986).

기능항목에서는 연결성과 분산성을 선정하였다. 연결성은 경관조각의 연결가능성 정도를 의미하는 것으로 경관조각의 보전가치와 서식처간의 네트워크 가능성을 평가하기 위한 지표로 활용되고 있다(이동근 외 2005; Cook, 2002; Opdam et al., 2002). 연결성은 도시계획에서도 녹지축과 생태네트워크 계획을 위한 계획도로로 활용될 수 있다. 분산성은 경관조각들 간의 공간적 상관성을 의미하는 것으로 경관조각의 분포패턴을 통해 파편화정도를 평가할 수 있는 중요한 지표로 도시계획에 있어 녹지의 복원계획을 수립하기 위한 근거 자료로 활용 가능하다(Turner et al., 2001;

표 2. 평가지표 선정근거.

구분		정의	선정근거		관련 선행연구
			경관생태학적 측면	도시계획적 측면	
구조	면적	경관조각의 크기	자연환경의 양적 측면을 나타내는 대표적 지표로 경관의 보전가치를 평가함에 있어 사용 빈도가 높음.	도시계획은 경관조각의 면적과 형태의 변화를 야기하여 대상지의 경관패턴 변화를 야기함.	김희주 외, 2011; 이동근 외, 2005; Cook, 2002; Turner et al., 2001
	형태	경관조각의 모양	경관조각의 형태는 가장자리 효과에 의해 종 분포의 안정성과 이동가능성 등을 측정하는 대표적 평가항목임.		김희주 외, 2011; 이동근 외, 2005; Collinge, 1996; Forman and Godron, 1986
기능	연결성	경관조각간의 연결 가능성	자연환경의 질적인 측면을 나타내는 대표적 지표로 생물서식처의 네트워크 가능성을 분석할 수 있음.	녹지축과 생태네트워크 계획을 위한 계획 도구로 활용 가능성이 높음.	오규식 외, 2011; 이동근 외, 2008; 사공정희 · 나정화, 2005; Singelton et al., 2002; Forman, 1995; Knaapen et al., 1992
	분산성	경관조각들의 배열	경관조각의 배열을 나타내는 대표적 지표로 주어진 경관조각의 분포패턴을 분석할 수 있음.	도시계획은 기존 경관조각을 변형하고 새로운 조각을 도입 · 훼손하여 기존 경관조각 패턴의 변화를 야기함.	김희주 외, 2011; Turner et al., 2001;
변화	자연성	경관조각의 자연성	식생의 자연성 또는 건강성을 나타내는 대표적 지표로 경관조각의 보전가치를 분석할 수 있음.	경관 변화에 의한 결과를 측정할 수 있는 대표적 항목	Cook, 2002; Turner etc., 2001; Forman and Godron, 1986
	종 다양성	서로 다른 종의 빈도와 다양성	자연환경의 질적인 측면을 나타내는 대표적 지표로 토지이용의 변화는 기존 서식종의 분포와 빈도의 변화를 야기함.		Morteberg et al., 2004; Turner et al., 2001; Forman and Gdron, 1986

김희주 외 2011).

마지막으로 경관의 변화는 경관생태학에서 주요 이슈 중 하나로 Forman and Godron(1986)에 의하면 경관의 변화는 서식종의 지속력, 저항력, 회복능력과 같은 요소를 모니터링 하여 경관의 안정성을 평가할 수 있음을 제시한바 있다. 즉 변화항목은 개발 이후의 모니터링과 생태계 관리의 의미가 강하다. 특히 최근 도시계획에서 서식종의 유지와 자연녹지의 보전을 중요시함을 고려하

여 자연성과 종 다양성을 변화를 평가하기 위한 지표로 선정하였다. 각 지표별 평가방법은 다음과 같다.

1) 구조

(1) 면적

면적은 서식공간의 안정성과 종 다양성에 직접적인 영향을 주고, 각종 개발에 따른 영향을 직관적으로 판단할 수 있도록 한다(Forman and

Godron, 1986; Turner et al., 2001; 이동근 외, 2005). Schonewald-Cox(1983)는 소형초식동물의 경우 100개체 이상을 유지하기 위해서는 최소 10ha의 면적이 필요하며 소형초식동물 1,000개체 혹은 대형초식동물 100개체가 유지되기 위해서는 약 1,000ha 이상의 면적이 요구된다고 연구에서 밝히고 있다.

(2) 형태

경관조각의 형태를 측정하기 위해서는 여러 가지 수식이 있는데 그중 경관조각의 형태지수(Shape Index)는 면적과 둘레길이의 비로 표현된다(Forman and Godron, 1986; 김희주 외, 2011). 형태지수가 가지는 의미는 그 수치가 낮을수록 원형에 가까움을 의미하며, 종의 다양성 측면에서는 긍정적인 관계를 갖게 된다.

2) 기능

(1) 연결성 : 중력모형과 최소비용경로 분석

중력모형은 물리학에서 다루는 뉴턴의 중력법칙을 이론적 근거로 두고 있으며 상권 및 도시계획시설의 영향권을 측정하는데 널리 활용되고 있다. 경관생태학에서는 경관조각 사이의 위치상 관계를 측정하는데 이용된다(Forman and Godron, 1986). 중력이론에 따르면 경관조각 상호간의 면적이 크고 거리가 가까울수록 조각들 간의 이동은 많아지고 연결성도 좋아지며, 거리가 멀고 면적이 작을수록 연결성은 떨어지게 된다(오규식 외, 2009).

한편, 최소비용경로분석은 목표지점까지의 최단 거리와 이에 영향을 미치는 저항요소를 고려한 래스터(Raster)데이터 기반의 네트워크 분석 방법이다(Knaapen et al., 1992; Adriaensen et al., 2003). 이 방법은 도로나 전신주와 같은 도시계획시설의 신규건설을 위한 경로분석에 넓게 응용되고 있다. 여기서 저항요소의 의미는 서로 다른 토지피복, 식생 유형, 표고, 경사, 또는 다른 경관특성을 재분류한 값을 나타낸다. 즉 각 격자들에

는 목표가 되는 특정 객체의 이동에 영향을 미치는 정도가 저항값으로 주어지게 된다(오규식 외, 2009). 경관생태학에서는 경관투과성(Landscape Permeability)이란 의미로 적용되고 있으며 동물의 예상 이동경로를 예측하거나 생태축 계획 수립에 주로 사용되고 있다(Adriaensen et al., 2003; 이동근 외 2008).

(2) 분산성 : 공간자기상관분석

서로 다른 공간과 시간에서의 공간패턴과 생태적 변화 과정은 정량화를 통해 파악 될 수 있다(Turner et al., 2001). 본 연구에서는 공간자기상관기법(Spatial Auto-correlation)을 이용하여 경관의 분포 및 패턴의 상관성(연관성)을 분석하였다. 공간자기상관분석 중 가장 보편적으로 적용되는 Global Moran's I는 전체 연구지역 내 경관조각의 공간자기상관 관계를 하나의 값으로 보여주는 것으로 값의 범위는 -1부터 +1까지이며, 0은 공간자기상관이 없음을 의미한다. 0보다 크면 인접 패치와의 속성이 유사하여 양(Positive)의 공간자기상관 군집패턴을, 0보다 작으면 음의(Negative)의 공간자기상관인 분산패턴을 의미한다.

한편, Global Moran's I는 인접한 곳에 있는 객체의 속성값이 얼마나 유사한지만을 측정하기 때문에 자체 값만으로는 핫 스팟(Hot Spot)을 구별하지 못하는 단점이 있다(김희주 외, 2011). 이에 반해 General G는 서로 인접한 속성 값들의 곱(Cross Product)을 통하여 공간자기상관 정도를 측정한다. 관측위치의 반경거리 내 공간자기상관 정도를 연구지역전체에 걸쳐 하나의 지수로 측정하게 된다. 이를 통해 전체지역에 걸쳐 핫 스팟(Hot Spot)이 우세한지 콜드 스팟(Cold Spot)이 우세한지 판별할 수 있다(Getis and Ord, 1992). 김희주 외(2011)는 개발사업이 발생한 지역 주변의 경관이 구조적(면적, 형태) 측면에서 Hot Spot 또는 Cold Spot으로 변화되는 경향이 있음을 밝힌 바 있다.

3) 변화

(1) 자연성 : 식생활력도

녹지분석에 있어 가장 일반적으로 사용되는 분석인 정규식생지수(NDVI : Normalized Difference Vegetation Index)는 식물의 활력도와 녹지 피복에 따른 가시광선 및 근적외선 파장대 광선의 반사량 차이를 이용한다. 정규식생지수(NDVI)의 산출값은 최소 -1에서 최대 1사이의 값을 가지며 8 bit 값을 갖는 이미지로 변화하여, 0에서 255까지의 값을 가지는 정규식생지수(NDVI) 이미지를 생성할 수 있다. 정규식생지수가 높은 지역은 산림이나 초목을 나타내고 정규식생지수가 낮은 지역은 도로나 물, 도시지역을 나타낸다. 본 연구에서는 2개 이상 시점의 위성 영상자료를 이용하여 NDVI값을 산출하고 이들의 비교를 통해 식생이 변화하는 지역과 그 정도를 파악함으로써 자연성을 평가하였다.

(2) 종 다양성 : 종별 서식지 분포

종 다양성(Biological Diversity; Biodiversity)이란 생물다양성협약 제2조에 “육상·해양 또는 그 밖의 수중생태계와 이들 생태계가 부분을 이루는 복합생태계 등 모든 분야의 생물체간의 변이성을 말하며, 이는 종내 다양성, 종간의 다양성 및 생태계의 다양성을 포함한다”고 정의하고 있다. 따라서 종 다양성은 경관조각 내 서식하는 서식지의 유형, 종의 특성 및 종류에 의해 평가될 수 있다. 특히 종의 출현이 새롭게 발견되거나 서식이 확인되는 지역은 먹이사슬이 형성되어 비교적 높은 생물 다양성을 보유하게 된다. 본 연구에서는 경관조각이 포함하고 있는 개체의 종류와 발견지점개수를 측정하여 종 다양성을 평가하였다.

2. 통합평가

경관생태 평가지표는 상호 연계를 맺고 있다. 경관조각의 크기, 형태의 변화와 같은 경관구조의 변화는 경관조각 간의 연결강도와 패턴의 변화를 야기한다. 따라서 경관의 개별적 평가보다

는 상호 연계를 맺고 있는 요소들을 종합적으로 고려한 평가가 계획·정책 수립에 효과적이다. 평가 대상지의 경관생태는 구조, 기능, 변화의 조합으로 설명될 수 있다. 예를 들어, 구조에서의 면적, 둘레, 형태지수 등을 통해 대상지 녹지의 보전가치를 평가할 수 있다. 다음으로 중력모형, 최소비용경로모형을 이용한 분석을 통해 녹지간의 연결성을 파악할 수 있다. 또한 식생활력도, 종 다양성과 같은 변화요소를 통해 개발로 인한 녹지생태계의 변화 정도와 자연지역의 훼손정도를 파악할 수 있다. 이러한 개별평가요소들은 도시계획을 실행과정에 있어 계획내용과 연계되어 보다 생태적으로 건전한 도시계획 및 개발의 수립을 가능하게 할 것이다. 통합평가 구현을 위해 개별평가요소에 대한 결과를 우선적으로 도면으로 나타내고 이들의 현황을 종합적으로 이해할 수 있도록 표의 형태로 축약하였다. 이러한 과정에서 면적, 형태지수, 중력모형 지수와 같은 일부 평가지표는 평균값으로 도출되도록 구성하였다(그림 1).

III. 경관생태관리시스템 구축

1. 시스템 주요기능 구성

LEMS는 파일, 분석범위 설정, 평가지표 선택/분석, 통합평가, 지도관리 그리고 관리자 기능 등 6개의 메인기능으로 구성된다(그림 2). ‘메인메뉴’에서는 분석을 위한 Vector·Raster형식의 파일을 불러오거나 자료변환을 위한 기본적 기능을 포함한다. ‘분석범위 설정’기능에서는 대상지의 규모에 따라 사용자가 분석범위를 설정할 수 있는 중첩기능을 담고 있다. ‘평가지표 선택·분석’기능은 경관생태 요소(구조, 기능, 변화)별 해당 평가지표를 선택하고 분석한다. ‘지도관리’기능은 지도의 확대·축소·전체지도보기 등과 같은 도형의 보기기능과 기본 속성조회, 거리·면적조회, 지도인쇄 기능을 포함한다. ‘통합평가’는 본 시스템의 가장 중요한 기능으로 대상지의 경

그림 1. 적용된 개별평가방법과 통합평가구현.

그림 2. LEMS의 메뉴체계.

관생태현황을 종합적으로 평가하여 사용자로 하여금 결과를 손쉽게 확인할 수 있도록 한다. 또한 통합평가를 발전하여 개별 대안에 대한 비교가 가능한 시나리오 분석기능을 추가하였다.

2. 평가시스템 구축

본 연구에서는 Visual Basic 6.0과 국내 GIS 프로그램 엔진인 Intramap Object를 이용하여 LEMS를 구축하였다. Intramap Object는 국산개발엔진으로 GIS개발자 라이브러리를 제공하여 개발자가 비교적 손쉽고 빠르게 GIS시스템을 개발할 수 있는 장점이 있다. shp, dxf, XMap 등의 다양한 GIS 파일포맷과 항공사진, 위성영상과 같은 이미지 파일도 지원 가능하다. 이러한 엔진의 장점을 활용하여 화면구성을 비롯한 전반적인 기능을 Intramap Object를 이용하여 구현하였다. 또한, 시스템 구현시 시스템의 정확성을 검증하기 위해 시스템의 분석결과와 상용소프트웨어인 ArcGIS 9.3의 분석결과를 비교하여 정확성을 향상 시켰다²⁾.

시스템은 기본적으로 주요기능을 수행하는 풀다운 메뉴(Pulldown Menu)와 보조적인 기능을 제공하는 툴 바(Tool bar), 분석 및 지도제작에 사용된 파일을 확인하고 색상을 변경할 수 있는 레이어 창, 그리고 결과물을 디스플레이 하는 화

시스템 초기화면

시스템 구성화면

그림 3. 시스템 초기화면과 메인화면 구성.

그림 4. 자료의 입출력 과정.

면으로 구성된다(그림 3). 분석을 위한 입출력은 메인화면에서 평가지표를 선택하고 변수 설정창에서 변수를 입력한 후 '시작'버튼을 누르면 분석결과가 메인화면에 출력되도록 구성하였다(그림 4). 평가를 위한 자료는 호완성을 고려하여 Vector분석은 shp포맷을 적용하였으며, Raster분석의 경우, ASCII포맷을 사용하였다(표 3). 그림 5는 구현된 경관생태 평가결과를 지표별로 나타낸 것이다.

2) LEMS의 정확성 검증은 조건 1을 대상으로 상용소프트웨어인 ArcGIS 9.3을 통해 이루어 졌다.

구분		LEMS	ArcGIS 9.3
구조	평균면적(ha)	555.33	555.34
	형태지수(평균)	2.67	2.67
기능 (분산)	평균이격거리	3,269	3,267
	면적(Moran's I)	0.11	0.11
	면적 (Local G)	Hot Spot 개수	1
		Cold Spot 개수	0
기능 (연결성)	중력모형지수(평균)	3,133,191	3,133,090
	최소비용경로	22,966	21,856

IV. LEMS의 적용가능성 검증

1. 연구 수행체계

LEMS의 유용성을 검증하기 위해 실제 도시개발사업을 대상으로 경관생태평가를 수행하였다. 보전지의 설정 또는 생태축의 변경과 같은 계획요소의 변화에 따라 조건을 달리하고, 도시공간의 생태적 성능을 증진할 수 있는 대안을 살펴보았다. 다만 도시개발에 의해 나타나는 식생활력도의 변화, 종 서식녹지의 위치 등은 예측이 제한되기 때문에 구조, 기능(연결성과 분산성)에 초점

표 3. 자료의 입출력 포맷.

구분		입력자료 (형태, 파일 포맷)	출력자료 (형태, 파일 포맷)	출력결과	
구조	면적	• 임상도 (면, shp)	• 구조분석 결과 (면, shp)	• 각 녹지의 속성정보로 면적, 둘레, 형태지수가 산출됨.	
	둘레				
	형태(형태지수)				
기능	연결성	• 구조분석 결과 (면, shp)	• 중력모형 결과 (점 · 선, shp)	• 각 녹지의 중심점이 생성되고 각 점을 최단거리로 이은 선자료가 추가적으로 생성됨. 선자료의 속성정보로 점과의 직선거리와 중력 모형결과가 산출됨.	
		• 중력모형 결과 (점, shp) • 저항도면 (raster, ASCII)	• 최소비용 경로 분석결과 (선, shp)	• 인접한 녹지를 야생동물이 이동할 때 예상되는 실제적인 이동경로가 도출됨.	
	분산	• 구조분석 결과 (면, shp)	• 전역적 Moran's 분석결과 (img)	• 면적, 둘레, 형태지수에 대한 전역적 Moran's I의 값 · 유의확률, 분포패턴이 img형태로 도출됨.	
		• 구조분석 결과 (면, shp)	• Local G 분석결과 (면, shp)	• 각 녹지의 면적, 둘레, 형태지수에 대한 Local G 분석결과 도면이 도출되고 속성정보로 유의확률과 표준화 계수가 산출됨.	
	변화	자연성 (NDVI)	• Landsat Band 4 (Raster, ASCII) • Landsat Band 3 (Raster, ASCII)	• NDVI산출결과 (Raster, ASCII)	• NDVI분석결과가 0~255사이의 결과값으로 산출됨.
			• 이전시점의 NDVI(raster, ASCII) • 현재시점의 NDVI(raster, ASCII)	• NDVI 비교분석결과 (Raster, ASCII)	• 변화된 NDVI값의 차이를 나타내는 도면이 생성됨.
종 다양성 (종 출현지점)		• 구조분석 결과 (면, shp) • 종 출현지점 (점, shp)	• 종 다양성 분석 결과 (면, shp)	• 종(포유류, 조류, 파충류, 양서류)이 서식하고 있는 녹지의 도면이 생성되고, 속성정보로 서식하고 있는 종과 출현지점의 개수가 산출됨.	

을 두고 분석을 실시하였다(그림 6). 실제 구조(면적, 형태), 기능(연결성, 분산)에 대한 평가가 최소공원 · 녹지면적 확보, 공원 · 녹지축의 설정과 같은 공원 · 녹지계획의 핵심적인 내용을 담고 있기 때문에 대부분의 적용가능성이 검증 가능하다. 경관생태평가는 LEMS의 시나리오분석 기능

을 통해 실시하였다.

2. 연구범위

본 연구에서는 수도권에 위치하고 있는 별내택지개발사업지구를 사례지역으로 선정하였다. 본 지역은 개발제한구역으로 지정되어 있었으나

그림 5. LEMS를 이용한 요소별 경관생태 평가결과.

그림 6. 적용가능성 검증방법.

단지를 조성함으로써 수도권의 지속적이고 안정적인 택지공급을 유지하기 위한 목적을 갖고 있다. 계획 개발면적은 약 5km^2 이며 76,000명의 인구가 거주할 예정이다. 주거용도의 토지이용이 면적의 대부분을 차지하고 있으며, 주변 녹지와 하천과 같은 자연자원을 활용하여 전체면적의 28.6%가 공원·녹지(하천 포함)로 계획되어 있다(그림 7).

3. 분석을 위한 조건

대상지의 경관생태를 평가하기 위해 ‘현황’, ‘택지개발 계획안’, ‘연결성 개선안’으로 나누어 분석을 실시하였다(표 4, 그림 8). 분석의 조건은 초기에 입력되는 공원·녹지의 면적과 형태, 최소비용경로분석을 위한 저항값의 차이로 구분된다.

‘현황’은 개발계획이 수립되기 이전의 대상지 현황을 대상으로 통합적 경관생태를 평가하는 것이다. 이를 위해 토지피복자료(중분류) 중 녹지와 관련된 레이어를 추출하고 분석을 위한 변수값으로 입력하였다. ‘택지개발 계획안’은 현재 계획안을 대상으로 ‘현황’과 동일한 평가지표를 사용하여 경관생태를 평가함으로써 도시개발에 의해 변화되는 경관생태적 성능을 분석하는 것이다. 이를 위해 별내지구 택지개발사업 토지이용계획도

별내지구 토지이용계획도 별내지구 공원·녹지계획도

그림 7. 연구의 범위.

국가정책으로 개발제한구역에서 해제됨과 동시에 대규모 도시개발사업이 계획되었다. 저소득 도시민의 주거안정을 위한 대규모 국민임대주택

표 4. 분석을 위한 조건.

구분	내용	입력자료	비고
조건 1 : 현황	개발계획 이전의 상태	<ul style="list-style-type: none"> • 녹지 : 토지피복도(중분류)에서 추출 • 최소비용경로 분석을 위한 저항값 : 토지피복도를 재분류 	-
조건 2 : 택지개발 계획안	원 계획안	<ul style="list-style-type: none"> • 공원, 녹지 : 별내 토지이용계획안(dwg)에서 추출 • 최소비용경로 분석을 위한 저항값 : 별내 토지이용계획도를 Raster로 변환하여 재분류 	<ul style="list-style-type: none"> • 1ha 미만의 녹지와 대로변의 완충녹지는 생태적 가치가 낮은 녹지로 가정하고 연결성 분석에서 제외
조건 3 : 연결성 개선안	연결성 분석을 통해 원 계획안의 녹지축 이외에 추가로 연결이 필요한 지역을 도출하고 이들을 연결시킴으로써 연결성을 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 공원, 녹지 : 별내 토지이용계획안에 연결이 필요한 지점에 녹지를 추가(CAD를 이용하여 작성) • 최소비용경로 분석을 위한 저항값 : 녹지를 추가한 별내 토지이용계획도를 Raster로 변환하여 재분류 	<ul style="list-style-type: none"> • 1ha 미만의 녹지와 대로변의 완충녹지는 생태적 가치가 낮은 녹지로 가정하고 연결성 분석에서 제외 • 연결녹지의 폭은 30~100m로 하되 공원·녹지의 총 면적은 대상지의 30%가 넘지 않도록 설정

조건 1(현황)

조건 2(택지개발 계획안)

조건 3(연결성 개선안)

그림 8. 조건 설정.

에서 1ha가 넘는 공원·녹지를 추출하였다. ‘연결성 개선안’의 경우, 택지개발 계획안에 대한 연결성 평가를 실시하고 연결성을 증진시키기 위한 지역에 녹지를 확충함으로써 택지개발 계획안의 생태·녹지축을 개선하는 것이다. CAD를 이용하여 기존 토지이용계획에 녹지를 추가하고 공원·녹지 레이어를 추출하였다. 다만 연결성 개선안의 공원·녹지 최대 면적은 현 신도시계획기준에서 제시하고 있는 기준 면적 30%를 넘지 못하도록 하였다.

한편, 최소비용경로 분석을 실시하기 위해서는 종의 이동특성이 고려된 저항값이 적용되어야 한

다. 본 연구에서는 이동근 외 (2008)가 제시한 기준을 적용하여 비용표면을 생성하였다³⁾. ‘현황’

3) 최소비용경로분석을 위해 적용된 저항값은 다음과 같다.
출처 : 이동근 외(2008)

토지피복	저항값	토지피복	저항값
침엽수림/활엽수림 /혼효림	1	논	3
		하우스 채배지/기타채배지	4
		골프장	5
자연초지/기타초지	2	기타나지	4
		채광지역	7
습지	2	주거/상업/공업지역	10
밭	3	도로	10
과수원	3	수역	10

의 비용표면은 개발 이전의 토지피복을 기준으로 작성하였으며, ‘택지개발 계획안’과 ‘연결성 개선안’의 비용표면은 별내지구 토지이용계획(2011년)을 Raster데이터로 변환하여 개발에 의해 변경될 대상지의 토지피복도를 작성하고 이를 재분류하였다.

연결성 분석을 통한 생태축의 폭은 국토해양부 신도시계획기준에 제시되어 있는 지구(단지)의 적정 폭인 30m를 초과하되 도시 녹지축의 하한 폭인 100m를 넘지 않도록 하였으며 대상지 외부와의 연결성을 고려하여 대상지 경계와 1km 이내에 위치하고 있는 녹지들을 분석대상에 포함하였다. 또한 택지개발계획안에 계획된 대로변의 완충녹지는 생태적 가치가 떨어지는 것으로 간주하고 분석을 실시하였다.

4. 분석결과

1) 구조

개발 전 대상지의 경관조각은 19개였으나 개발 후 135개로 증가하였다. 이에 따라 경관조각의 면적은 10,551.45ha에서 10,569.14ha로 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 녹지의 평균면적은 약 477.04ha 감소하는 것으로 분석되었다. 이는 계획과정에서 공원, 연결녹지, 완충녹지 등이 다양한 크기로 계획됨에 따른 결과로 볼 수 있다.

연결성 개선안의 경우, 주요 지점에 녹지를 추가로 계획함에 따라 단절되었던 녹지가 통합되어 경관조각의 수는 66개로 감소하였다. 총 면적에 있어서도 10,688.09ha로 소폭 증가하였으며, 평균면적도 원 계획보다 83.65ha 증가하였다. 한편, 형태지수는 개발에 의해 2.67에서 2.35로 감소하였다. 이는 형태적 측면에서 개발 전 보다 개발 후가 종의 서식에 적합함을 의미하는 것이다. 연결성 개선안의 형태지수는 2.21 감소하여 택지개발 계획안보다 연결성 개선안이 보다 바람직한 것으로 나타났다.

2) 기능(분산)

경관조각 간의 평균이격 거리는 개발 전과 비교하여 3,269m에서 1,569m로 감소한 것으로 나타났다. 연결성 개선안의 경우 택지개발 계획안에 비해 200m 감소한 1,369m를 나타냈다. 이는 경관조각의 수와 면적을 고려했을 때 경관조각간의 거리는 연결성개선안이 가장 우수함을 의미한다.

한편, 면적에 기초한 경관조각의 분포형태는 전역적 분석의 경우 개발 후 Moran's I가 0.11에서 0.01로 감소하여 약간의 파편화가 이루어진 것으로 나타났다. 연결성 개선안에서는 Moran's I가 0.02 증가하여 택지개발 계획안에 비해 소폭 개선된 것으로 나타났다. 그러나 형태지수를 대상으로 한 Moran's I의 경우 연결성 개선안이 가장 낮은 값을 보였다. 이는 연결성 개선안을 통해 이격된 녹지가 통합되는 과정에서 경관조각이 다양한 형태로 변화했기 때문이다. 면적기준의 국지적 분석 경우 개발에 의해 Hot Spot을 나타내는 경관의 수가 1개 증가하였다. 이는 개발계획에 의해 소규모의 경관조각이 다수 증가함에 따라, 대상지 주변에 대규모 녹지가 상대적으로 큰 값을 지니게 되었기 때문이다. 연결성 개선안에서도 Hot Spot을 나타내는 경관조각의 수가 2개로 동일하게 나타나 개선이 이루어 지지 못한 것을 확인할 수 있다. 형태지수를 기준으로 한 국지적 분석의 경우, 개발에 의해 경관조각의 형태가 다양해짐에 따라 Hot Spot을 나타내는 경관조각의 개수가 3개 증가하여 형태적 측면에서 파편화가 증가하였다. 그러나 연결성 개선안에 의해 Hot Spot을 나타내는 경관조각의 개수가 1개로 감소하여 연결성 개선안이 원계획에 비해 개선되었음을 확인할 수 있다.

3) 기능(연결성)

중력모형 평가 결과, 개발 후 경관조각 간의 연계망의 수가 3배 증가된 것을 확인할 수 있었다. 그러나 중력모형지수는 개발 후 약 3배 감

소한 것으로 나타났다. 이는 경관조각 간의 이격 거리가 감소한 것에 비해 대상지 내부도로망과 같은 계획적 요소에 의해 개별 경관조각의 면적이 충분히 확보되지 못했기 때문이다.

연결성 개선안의 경우, 택지개발 계획안에 비해 연계망 수는 2배 감소하였으나 중력모형의 값이 2배 증가한 것으로 나타나 택지개발 계획안에 비해 연결성이 양호해진 것을 확인할 수 있다. 이는 택지개발 계획안에 의해 단절되었던 경관조각들이 연결됨에 따라 면적은 확충되고 이격거리가 감소함에 따른 결과로 볼 수 있다.

한편, 최소비용경로에 의한 연결성 평가결과는 개발에 의해 저항값이 18배 증가한 것으로 나타났다. 이는 개발 전에는 대상지가 주로 논, 밭과 같이 동물의 이동에 유리한 용도로 구성되어 있었으나, 개발 후 이들 대부분이 시가화지역으로 변화됨에 따라 저항값이 크게 증가했기 때문이다. 연결성 개선안의 경우 녹지를 확충함에 따라 택지개발 계획안 보다 소폭 개선된 것으로 나타났다.

4) 분석종합

도시개발로 인한 본래의 대상지의 경관은 경관조각수와 총 면적 증가, 파편화 개선과 같은 긍정적 결과를 야기하기도 하였다. 그러나 토지피복이 농지에서 시가화지역으로 변화되고, 내부도로망의 증가로 경관조각의 기능을 충분히 수행할 수 있는 녹지가 확보되지 못하여 형태와 연결성측면에서 성능이 크게 저하된 것으로 나타났다.

따라서 도로의 지하화·에코브릿지 도입을 통해 연계가 가능한 녹지를 연결한다면 경관생태적 성능을 향상시킬 수 있는 면적이 확충되고 연결성을 제고할 수 있을 것이다. 연결이 필요한 주요 지점에 녹지를 확충한 계획 개선안을 대상으로 통합분석을 실시한 결과, 면적을 기준으로 한 국지적 분산과 연계망수를 제외한 모든 평가지표(면적, 형태, 중력모형, 최소비용경로분석)에서 연결성 개선안이 택지개발 계획안 보다 우수한

것으로 분석되었다.

구조의 경우, 녹지가 통합되는 과정에서 경관조각 수는 감소했으나 면적이 증가하여 규모적 측면에서 안정화가 이루어졌다. 녹지의 형태도 원형에 보다 가까워져 생태자원보전 측면에서 연결성 개선안이 우수한 것으로 나타났다. 또한 녹지의 통합은 경관조각간의 이격거리를 좁히고 경관조각의 군집을 야기하여 면적을 기준으로 한 Moran's I와 형태를 기준으로 한 Local G에서 개선이 이루어졌다. 연결성은 경관조각의 수가 감소함에 따라 연계망 수가 감소하였으나, 오히려 녹지의 면적이 확충되고 이격거리가 짧아져 중력모형지수가 크게 향상되었다. 최소비용경로는 녹지가 소폭 증가함에 따라 저항정도가 택지개발 계획안에 비해 개선된 것으로 분석되었다. 이상의 분석결과는 연결성 개선안이 택지개발계획안에 비해 경관생태적 측면에서 향상되었음을 명확히 보여주고 있다(표 5).

V. 결 론

본 연구는 도시개발의 경관생태적 성능을 제고하기 위한 LEMS를 구축하고 사례연구를 통해 LEMS의 적용 가능성과 유용성을 검증하였다. LEMS는 도시계획을 수립함에 있어 다음과 같은 유용성을 갖고 있다.

첫째, LEMS는 계획대안을 평가하기 위한 과학적 근거를 제시할 수 있다. 그동안 도시계획분야에서 공원·녹지에 대한 대안 평가는 주로 계획가의 주관이나 설문조사에 의해 이루어졌다. 분석결과에 제시된 바와 같이, 본 연구를 통해 개발된 평가방법은 개별 대안에 대한 경관생태적 성능을 정량적으로 평가하게 하여 과학적 근거에 의한 계획수립을 가능하게 한다. 물론, 본 연구에서 제안된 연결성 개선안이 도시계획 및 설계의 관점에서 다소 논란이 있을 수 있으나, 실제 계획수립시 전문가의 다양한 의견이 시스템에 적용되어 유익한 결과를 도출할 수 있을 것이다.

표 5. 분석결과.

구분			현황 (조건 1)	택지개발 계획안 (조건 2)	연결성 개선안 (조건 3)	비고(값의 의미)
구조	경관조각(수)		19	135	66	개개의 경관조각이 면적이 큰 조각으로 통합될수록 우수 (Cook, 2002; Forman, 1995; Schonewald_Cox, 1983; Turner et al., 2001)
	면적	총면적(ha)	10,551.45	10,569.14	10,688.09	
		평균면적(ha)	555.33	78.28	161.94	
	형태지수(평균)		2.67	2.35	2.21	낮을수록(원형에 가까운 형태 일수록) 자원보전적 측면에서 우수 (Forman, 1995; Turner et al., 2001)
기능 (분산)	평균이격거리(m)		3,269	1,569	1,369	경관조각거리가 짧을수록 우수(Cook, 2002; Forman, 1995; Turner et al., 2001)
	면적(Moran's I)		0.11	0.01	0.03	높을수록(유사한 크기의 경관 조각이 군집할수록) 우수 (Turner et al., 2001; 김희주 외, 2011)
	형태지수(Moran' I)		0.17	0.04	-0.003	높을수록(유사한 형태의 경관 조각이 군집할수록) 우수 (Turner et al., 2001; 김희주 외, 2011)
	면적 (Local g)	Hot Spot 개수	1	2	2	Hot Spot 개수가 적을수록 우수(Turner et al., 2001; 김희주 외, 2011)
		Cold Spot 개수	0	0	0	
	형태지수 (Local G)	Hot Spot 개수	1	4	1	Cold Spot 개수가 적을수록 우수(Turner et al., 2001; 김희주 외, 2011)
		Cold Spot 개수	0	0	0	
기능 (연결성)	중력모형	연계망 수	19	53	25	연계망 수가 많고 지수가 높을수록 우수(Forman, 1995; Turner et al., 2001; 사공정 회 · 나정화, 2005; 오규식 외, 2009)
		중력모형지수 (평균)	3,133,191	1,019,344	2,184,376	
	최소비용경로		22,996	425,537	423,386	낮을수록 우수(Adriaensen et al., 2003; Knaapen et al., 1992; Singelton et al., 2002; 오규식 외 2011; 이동근 외 2008)

둘째, LEMS는 다양한 계획 수립단계에 적용이 가능하다. 현황조사 단계에서는 대상지의 경관생태적 성능을 파악하는 분석도구로 활용될 수

있다. 기본구상과 세부계획 수립단계에서는 공원·녹지체계를 구상하고 실제적으로 계획하는 계획도구로도 활용 가능하다. 특히 계획수립과

정이 비교적 유사하기 때문에 도시개발사업뿐만 아니라 도시기본계획, 광역계획과 같은 다양한 도시계획에 적용될 수 있을 것이다.

셋째, LEMS는 분석자로 하여금 경관생태적 성능을 종합적으로 이해할 수 있게 한다. 그동안 경관생태학과 관련된 시스템이 소수 개발되었으나 이들은 구조, 기능, 변화를 개별적으로 접근하거나 복잡한 과정에 의해 평가가 이루어져 도시계획에 직접적으로 적용하기에 어려움이 있었다. 본 연구를 통해 개발된 통합평가 모형은 개별평가 요소를 과학적 방법에 의해 종합하고 도면화하여 의사결정을 위한 효율성을 제고할 수 있을 것이다.

그러나 LEMS의 구축과 관련하여 다음과 같은 한계가 후속연구를 통해 극복될 필요가 있다. 첫째, 개발이후의 자료구득이 제한되어 개발전·후의 생태적 성능을 평가하기 위한 변화항목이 적용가능성 검증에서 충분히 이루어지지 못하였다. 둘째, 수생태와 농지의 생태적 성능을 정량적으로 평가하기 위한 평가방법과 자료의 부재로 녹지부문에 연구의 초점이 맞추어졌다. 향후 시스템을 고도화하는 과정에서는 수생태계나 농지의 생태적 성능을 고려한 평가체계를 고려할 필요가 있다. 마지막으로 보다 다양한 공간적 스케일을 고려한 LEMS의 적용성이 검토될 필요가 있다.

인 용 문 헌

- 김대현 · 김대수 · 주신하 · 오서래. 2003. 도시의 토지이용 형태별 경관특성과 유형-대전광역시를 사례로. 한국조경학회지 33(4) : 20-30.
- 김희주 · 오규식 · 이동근. 2011. 공간자기상관분석을 통한 시계열적 경관구조의 변화 분석. 환경복원녹화 14(3) : pp. 1-14.
- 사공정희 · 나정화. 2005. 녹지 잠재 영향권역 설정을 통한 녹지단절구역 분류 및 우선순위 선정. 한국조경학회지 33(2) : 1-15.
- 오규식 · 이동우 · 정승현 · 박창석. 2009. 도시 생태네트워크 설정을 위한 공간의사결정지원 체계에 관한 연구-경관생태학 이론을 기반으로. 한국 GIS학회지 17(3) : 251-259.
- 오정학 · 정성관 · 권진오 · 박경훈. 2007. 경관생태학적 유역관리를 위한 토지이용 유형 분류. 한국지리정보학회지 10(4) : 22-34.
- 이도원. 2001. 경관생태학. 서울대학교출판부.
- 이동근 · 김명수 · 구본학 · 김경훈 · 김동성 · 나정화 · 윤소원 · 이명우 · 전성우 · 정홍락 · 조경두 · 제종길 · 홍선기. 2005. 경관생태학. 보문당.
- 이동근 · 김은영. 2008. 수도권 내 개발계획관련 요소와 산림파편화 관계분석을 통한 관리방안. 한국조경학회지 35(6) : 37-47.
- 이동근 · 송원경 · 전성우. 2008. 경관투과성 및 최소비용경로 분석을 통한 수도권 지역의 광역생태축 구축 연구. 환경복원녹화 11(3) : 94-106.
- 이동근 · 윤소원 · 김은영 · 최재용. 2005. 보전가치평가를 위한 경관생태학적 지표의 활용 및 적용. 환경복원녹화 32(6) : 14-22.
- 이상헌 · 오규식. 2010. 셀룰라 오토마타를 이용한 개발제한구역의 효과 분석. 국토계획 45(3) : 193-209.
- 조용현. 2000. 경관지수를 이용한 지역생태계 평가. 환경영향평가 9(4) : 349-362.
- <http://www.clarklabs.org>
- <http://www.umass.edu>
- <http://www.moleg.go.kr>
- Adriaensen, F., J.P. Chardon, D. De Blust, E. Swinnen, S. Villaba, H. Gulinck, and E. Matthysen. 2003. The application of least-cost modelling as a functional landscape model. Landscape and Urban Planning 64 : 233-247.
- Cook, E.A. 2002. Landscape structure indices for assessing urban ecological networks. Landscape and Urban Planning 58 : 269-280.

- Forman, R.T.T. and M. Godron. 1986. Landscape ecology, New York : John Wiley & Sonns.
- Forman, R.T.T. 1995. Land mosaics : The ecology of landscape and regions. New York : Cambridge University Press.
- Getis, A. and T.K. Ord. 1992. The Analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographic Analysis* 24(3) : 189-257.
- Knaapen, J.P., M. Scheff and B. Harins. 1992, Estimating habitat isolation in landscape planning, *Landscape and Urban Planning* 23 : 1-16.
- Mortberg, U.M, B. Balfors, and W.C. Knol. 2007 Landscape ecological assessment : A tool for integrating biodiversity issues in strategic environmental assessment and planning. *Journal of Environmental Management* 82 : 457-470.
- Reynolds, K.M. and P.F. Hessburg, 2005. Decision support for integrated landscape evaluation and restoring planning 207 : 263-278.
- Schonewald-Cox, C.M. 1983. Guidelines to management : A beginning attempt. In Recharad B. Primack. 1993, *Essentials of Conservation Biology*, Sunderland, Messachusetts : Sinauer Associates.
- Singelton, P. H., W.L. Gaines and J.F. Lehmkuhl. 2002. Landscape permeability for large carnivores in Washington; A geographic information system weighted-distance and least-cost corridor assessment. United States Department of Agriculture, Pacific Northwest Research Station.
- Termorshuizen, J.W. and P. Opdam. 2009. Landscape services as a bridge between landscape ecology and sustainable development. *Landscape Ecology* 24 : 1037-1052.
- Turner, M.G. 1990. Spatial and temporal analysis of landscape patterns, *Landscape Ecology* 4(1) : 21-30.
- Turner, M. G. · R. H. Gardner and R. V. O'neil. 2001. *Landscape ecology in theory and practice*. Springer Science Business Media.
- Wong, D.W.S and J. Lee, 2005, *Statistical analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS*. New York : John Wiley & Sons.
- Wu, Jianguo and R. Hobbs. 2002. Key issues and research priorities in landscape ecology : An idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology* 17 : 355-365.
- Zhang, L. and H. Wang. 2006. Planning an Ecological Network of Xiamen Island (China) using Landscape Metrics and Network Analysis. *Landscape and Urban Planning* 78 : 449-456.